Bibliothek
der
Friedr.-Wilh.-Schule
№ V a B 2

Baumgartner

Phys. g.
618 f

12

Die

Naturlehre

nach ihrem

gegenwärtigen Zuſtande

mit Rückſicht

auf mathematiſche Begründung.

BAYERISCHE STAATS BIBLIOTHEK MUENCHEN

Dargeſtellt

FR. WILH. SCH STETTIN.

von

Dr. Andreas Baumgartner,

k. k. wirklichem Hofrathe, Director der k. k. Tabak-Fabriken, Ritter des königl. ſächſiſchen Civil-Verdienſt-Ordens, Mitglied mehrerer in- und ausländiſchen gelehrten Geſellſchaften.

Achte vermehrte und umgearbeitete Auflage.

Mit zehn Kupfertafeln.

Wien.

Gedruckt und im Verlage bei Carl Gerold.

1845.

G. n. 5176

BAYERISCHE
STAATS-
BIBLIOTHEK
MUENCHEN

Vorrede.

Ich erſcheine nun mit meiner Naturlehre ſeit dem Jahre 1824 zum achten Male vor dem phyſikaliſchen Publikum. Möge dieſe Ausgabe von den Kennern und Freunden der Wiſſenſchaft eben ſo gut aufgenommen werden, wie die vorhergehenden! Sie iſt wie die fünf erſten wieder von mir allein bearbeitet worden, weil mein Mitarbeiter bei der ſechsten und ſiebenten Ausgabe ſich beſtimmt gefunden hat, für ſeinen Wirkungskreis ſein eigenes Werk herauszugeben.

Ich glaubte mir bei jeder der früheren Ausgaben das Recht erworben zu haben, ſie eine vermehrte und umgearbeitete zu nennen, und nehme dieſes Recht auch für die gegenwärtige in Anſpruch. Waren auch Tendenz und Behandlungsweiſe ſich immer gleich geblieben, ſo machten es doch die Fortſchritte der Wiſſenſchaft jedesmal nöthig, das Ganze zu überarbeiten, um ein möglichſt deutliches, treues und vollſtändiges Bild des Zuſtandes der Wiſſenſchaft liefern zu können, wie dieſes der Titel verſpricht. Darum mußte jede frühere Ausgabe als ein für ſich beſtehendes Werk erſcheinen und man konnte daran nicht mehr den Typus der vorausgegangenen erkennen.

Alles dieſes findet auch auf die vorliegende Ausgabe Anwendung. Kein Theil des Buches iſt ganz ungeändert geblieben, die meiſten haben ſogar eine totale Umſtaltung erlitten; nur im optiſchen Theile beſchränkten ſich die Veränderungen auf die Anordnung der einzelnen Kapitel und im aſtronomiſchen auf die Textirung. Hie und da bin ich wieder zur Darſtellung, wie ſie in der ſechsten Auflage Statt gefunden hat, zurückgekehrt und

habe ſomit gewiſſermaßen einen Rückſchritt gemacht. Namentlich iſt dieſes bei dem Beweiſe des Kräften-Parallelogramms der Fall, wo ich wieder den Duchayla'ſchen Gang eingeſchlagen habe. Ich kann mich nämlich nicht der Vorliebe für ſolche Beweisführungen entſchlagen, wo man die phyſikaliſche Bedeutung jedes Schrittes klar vor Augen hat und das Reſultat gleichſam herandämmern ſieht, und ziehe ſie weit jenen Beweisarten vor, wo man die phyſikaliſchen Bedeutungen gleichſam bei Seite ſetzt, den rein mathematiſchen Weg verfolgt und am Ende durch das phyſikaliſche Reſultat gleichſam überraſcht wird. Dieſe meine Vorliebe iſt der Grund des erwähnten Rückſchrittes.

Ungeachtet aller dieſer Aenderungen und der faſt gänzlichen Umarbeitung der ſiebenten Ausgabe iſt doch ein großer Theil des Verdienſtes meines früheren Mitarbeiters in dieſe Ausgabe mit übergegangen.

Die letzte Aufgabe des Phyſikers iſt, klar nachzuweiſen, welche Kräfte poſtulirt werden müſſen und welches deren Wirkungsweiſe iſt, um alle Naturerſcheinungen durch das ganze Gebiet ihrer ſinnlichen Wahrnehmbarkeit hindurch bis zur letzten überſinnlichen Wurzel verfolgen zu können. Wer in Bezug auf dieſe Aufgabe die heutige Phyſik mit der vor einem halben oder nur vor einem Vierteljahrhundert vergleicht, kann nicht ohne freudige Aufregung die Fortſchritte bemerken, welche gemacht worden ſind. Genau genommen bedarf man heut zu Tage kaum andere Kräfte als die allgemeine, von der Natur der Materie unabhängige und nur ihrer Quantität angehörige Anziehung (Schwere), ferner die gewiſſermaßen die Qualität der Materie beſtimmenden Kräfte der Atome, die man, ſo fern ſie ſich an den Molekeln äußern, Molekularkräfte nennt. Eine eigene chemiſche Anziehungskraft bedarf nur jener, der ſich eine chemiſche Verbindung nicht ohne Durchdringung der Materie denken kann, während dieſe einem Forſcher, der in einer chemiſchen Zuſammenſetzung nur die Juxtapoſition der Atome ſieht, dieſelbe Kraft iſt, welche, in den Molekeln wirkſam, deren Cohärenz, Elaſticität ꝛc. begründet. Alle ſonſt noch in die Phyſik eingeführten Kräfte, wie z. B. die Adhäſions-, Abſorptions-, Kryſtalliſations-, lichtbrechende Kraft ꝛc.

ſind nur beſondere Formen der Molekularkräfte oder Reſultirende dieſer und der allgemeinen Anziehung.

Die imponderablen Stoffe, welche ſonſt in der Phyſik ſo ſtrenge Herrſchaft geübt haben, verlieren täglich mehr Terrain und werden bald ihren Zepter an eine einzige unwägbare Materie, den Weltäther, ganz abgetreten haben. Einen Lichtſtoff als materiellen Ausfluß anzunehmen, wäre heut zu Tage nicht beſſer, als die Gehöraffectionen von einem Schallſtoff ableiten zu wollen; denn alle optiſchen Phänomene können eben ſo leicht aus den Vibrationen des Aethers gefolgert werden wie die acuſtiſchen aus den Schwingungen der Körpertheile. Die ſtrahlende Wärme unterſcheidet ſich von Lichtſtrahlen nur durch ihre Beziehung zur Elaſticität der Netzhaut im Auge, die geleitete Wärme hingegen läßt ſich als das Ergebniß der durch Aetherſchwingungen angeregten Vibrationen der kleinſten Körpertheile anſehen. Man bedarf daher auch nicht mehr die Annahme eines eigenen Wärmeſtoffes. Gelingt es endlich gar, die Phänomene der elektriſchen Spannung von einer eigenthümlichen Stellung der Molekel und die des elektriſchen Stromes von einer fortſchreitenden Vibration um dieſe Stellung abzuleiten, wie ich dieſes gehörigen Ortes (S. 431, 536 und 753) angedeutet habe, und ſieht man der Ampère'ſchen Hypotheſe gemäß den Magnetismus als das Reſultat der Aufeinanderwirkung elektriſcher Ströme an; ſo bedarf es weiter keiner Annahme eines unwägbaren Stoffes mehr. Die Schwierigkeiten bei der Anwendung der Ampère'ſchen Hypotheſe haben vielleicht nur in der Mangelhaftigkeit unſerer Kenntniß der magnetiſchen Wirkungen ihren Grund. Wir ſtehen nämlich in der Kenntniß des Verhaltens zweier Magnete zu einander noch immer da, wo wir in Bezug auf die Wirkung zweier elektriſcher Ströme auf einander geſtanden haben, bevor Faraday die elektro-magnetiſchen Rotationen nachgewieſen hat. Hätte man immer nur die Wirkung eines elektriſchen Stromes auf beide Pole eines Magnetes zugleich betrachtet, ſo wäre man nie zur Kenntniß der Rotationsbewegungen vorgerückt und würde noch immer die Kraft eines elektriſchen Stromes als eine bloße Richtkraft anſehen. Bei den Magneten ha-

ben wir es aber noch immer mit der gleichzeitigen Wirkung beider Pole des einen auf beide Pole des anderen zu thun, und da die entgegengeſetzten Pole auch entgegengeſetzte Tendenzen äußern, ſo bleibt es bei einer Parallelſtellung derſelben und jede andere Wirkung wird durch eine Gegenwirkung aufgehoben. Es iſt ſehr zu bezweifeln, daß es je gelingen wird, die Wirkung zweier iſolirten Pole auf einander in der Erfahrung nachzuweiſen, doch kann hier die mathematiſche Behandlung ins Mittel treten und, durch die Analogie zwiſchen der Anziehung zweier elektriſcher Ströme und der zweier Magnetpole geleitet, das nähere Verhalten der Magnete zu einander nachweiſen. So lange dieſes nicht geſchehen iſt, ſcheint mir auch jedes Bemühen, die magnetiſchen Phänomene zu erklären, fruchtlos. Was ich hierüber in meiner Naturlehre gehörigen Ortes geſagt habe, geſchah mehr der Charakteriſtik des gegenwärtigen Zuſtandes unſeres phyſikaliſchen Wiſſens wegen, als um meine eigene Anſicht an den Tag zu legen.

Wien im Februar 1845.

Der Verfaſſer.

Inhalt.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Seite

Einleitung 3

Erſter Abſchnitt. Von den Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel. Allgemeine Eigenſchaften und Kräfte der Körper 9
Zweites Kapitel. Materielle Verſchiedenheit der Körper . . 39

Zweiter Abſchnitt. Gleichgewicht der Kräfte.

Erſtes Kapitel. Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte . 81
Zweites Kapitel. Theorie der Schwere 89
Drittes Kapitel. Gleichgewicht der Körper überhaupt, der feſten, ſchweren insbeſondere 93
Viertes Kapitel. Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen . . 96
Fünftes Kapitel. Gleichgewicht der Theile feſter Körper.
A. Anordnung der Theile feſter Körper 106
B. Widerſtand gegen Verſchiebung und Trennung der Theile 117
C. Ausdehnung feſter Körper durch die Wärme 123
D. Conſtitution feſter Körper 127
Sechstes Kapitel. Gleichgewicht der tropfbar flüſſigen Körper.
A. Verwandlung feſter Körper in tropfbare 129
B. Ausdehnung tropfbarer Körper durch die Wärme . . . 131
C. Eigenſchaften der tropfbaren Flüſſigkeiten und deren Molecularkräfte 133
D. Allgemeine Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten ohne Rückſicht auf die Kräfte, die darauf wirken 139
E. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer tropfbarer Körper ohne Rückſicht auf Molecularkräfte 141
F. Hydroſtatiſche Beſtimmung der ſpecif. Gewichte und der Dichte feſter und tropfbarer Körper 149
G. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer tropfbarer Körper mit Rückſicht auf Molecularkräfte 156
Siebentes Kapitel. Gleichgewicht ausdehnſamer Körper.
A. Ausdehnſamkeit der Gaſe und Luftdruck 163
B. Schwere, ſpecif. Gewicht und Dichte der Gaſe 183

Seite
C. Gleichgewicht der Gaſe 186
D. Dunſtbildung und das Sieden 202
E. Spannkraft und Dichte der Dünſte 209
F. Gleichgewicht der Dünſte (Hygrometrie) 214
G. Anwendung des Dampfes 225

Dritter Abſchnitt. Bewegung der Körper.

Erſtes Kapitel. Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere 236
Zweites Kapitel. Mittheilung der Bewegung (Stoß der Körper) 244
Drittes Kapitel. Hinderniſſe der Bewegung 249
Viertes Kapitel. Bewegungsgeſetze ſchwerer feſter Körper . 253
Fünftes Kapitel. Bewegungsgeſetze ſchwerer tropfbarer Körper.
A. Fortſchreitende Bewegung 271
B. Wellenbewegung 277
Sechstes Kapitel. Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper . 285
Siebentes Kapitel. Bewegung durch Molecularkräfte . . 288
Achtes Kapitel. Geſetze des Schalles.
A. Schall überhaupt 302
B. Fortpflanzung des Schalles 304
C. Intenſität des Schalles 309
D. Höhe und Tiefe des Schalles 312
E. Schwingungen ſelbſttönender Körper 317
F. Schwingungen mittönender Körper 339
G. Wahrnehmung des Schalles 342

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erſter Abſchnitt. Magnetismus.

Erſtes Kapitel. Allgemeine magnetiſche Erſcheinungen . . . 352
Zweites Kapitel. Erzeugung künſtlicher Magnete 357
Drittes Kapitel. Geſetze der Wirkungen magn. Kräfte . . . 363
Viertes Kapitel. Nähere Betrachtung des Erdmagnetismus 378

Zweiter Abſchnitt. Elektricität.

Erſtes Kapitel. Erſcheinungen der Elektricität überhaupt . . 394
Zweites Kapitel. Erregung elektr. Spannung durch Vertheilung 400
Drittes Kapitel. Geſetze des Gleichgewichtes der Elektricität in Leitern (Elektroſtatik) 404
Viertes Kapitel. Elektriſirmaſchine und auf elektriſcher Spannung beruhende Apparate 426
Fünftes Kapitel. Geſetze der elektriſchen Entladung . . . 401
Sechstes Kapitel. Theoretiſche Anſicht über den objectiven Grund der Elektricität 481
Siebentes Kapitel. Galvanismus mit Rückſicht auf die Geſetze des elektriſchen Stromes.

Seite
A. Einfache Kette und Verſuche mit derſelben 433
B. Zuſammengeſetzte Kette und ihre Wirkungen 439
Achtes Kapitel. Chemiſche Wirkungen des elektriſchen Stromes (Elektrochemie) 450
Neuntes Kapitel. Magnetiſche Wirkungen des elektriſchen Stromes (Elektromagnetismus) 467
Zehntes Kapitel. Inducirende Wirkungen des elektriſchen Stromes (Magneto-Elektricität) 485
Eilftes Kapitel. Thermoelektriſche Ströme 498
Zwölftes Kapitel. Maßbeſtimmungen für die elektriſche Kette 503
Dreizehntes Kapitel. Nähere Betrachtung der Mittel, Elektricität zu erregen 524

Dritter Abſchnitt. Licht.

Erſtes Kapitel. Erſcheinungen des Lichtes überhaupt . . . 540
Zweites Kapitel. Reflexion des Lichtes 546
Drittes Kapitel Gewöhnliche Brechung des Lichtes . . . 554
Viertes Kapitel. Farbenzerſtreuung durch Brechung (Dispersion) 567
Fünftes Kapitel. Theoretiſche Anſicht über die Natur des Lichtes 578
Sechstes Kapitel. Beugung des Lichtes 592
Siebentes Kapitel. Doppelte Brechung 608
Achtes Kapitel. Polariſation des Lichtes 620
Neuntes Kapitel. Farben dünner Plättchen 646
Zehntes Kapitel. Abſorption des Lichtes 652
Eilftes Kapitel. Das Auge und das Sehen 662
Zwölftes Kapitel. Optiſche Inſtrumente 676
Dreizehntes Kapitel. Chemiſche Wirkungen des Lichtes . 695

Vierter Abſchnitt. Wärme.

Erſtes Kapitel. Bewegungsgeſetze der ſtrahlenden Wärme . 705
Zweites Kapitel. Bewegungsgeſetze der geleiteten Wärme . 716
Drittes Kapitel. Meſſung der Wärmequantitäten 722
Viertes Kapitel. Quellen der Wärme 732
Fünftes Kapitel. Vom Verbrennen 739
Sechstes Kapitel. Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene 749

Dritter Theil.

Naturerſcheinungen im Großen.

Einleitung 757

Erſter Abſchnitt. Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel. Himmelskörper überhaupt 758
Zweites Kapitel. Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre . 759
Drittes Kapitel. Geſtalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung 764

Seite
Viertes Kapitel. Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde 772
Fünftes Kapitel Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde 775
Sechstes Kapitel. Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne 781
Siebentes Kapitel Bewegung der Nebenplaneten und Fixſterne 786
Achtes Kapitel. Die Kometen und ihre Bewegung 789
Neuntes Kapitel. Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten 791
Zehntes Kapitel. Urſache der Planetenbewegungen 796
Eilftes Kapitel. Fixſterne. Größe des Weltalls 800

Zweiter Abſchnitt. Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel. Beſchaffenheit der Erde im Allgemeinen . . 805
Zweites Kapitel. Gewäſſer der Erde 807
Drittes Kapitel. Feſtes Land 823
Viertes Kapitel. Veränderungen der Erde 832

Dritter Abſchnitt. Meteorologie.

Erſtes Kapitel. Die Atmoſphäre und ihre Zuſammenſetzung . 842
Zweites Kapitel. Wärmeverhältniſſe 846
Drittes Kapitel. Luftſtrömungen 867
Viertes Kapitel. Veränderungen im Drucke der Luft- und Dunſtatmoſphäre 875
Fünftes Kapitel. Feuchtigkeitszuſtand der Atmoſphäre und Waſſermeteore 884
Sechstes Kapitel. Electrometeore 894
Siebentes Kapitel. Lichtmeteore 904
Achtes Kapitel Feuermeteore 914
Neuntes Kapitel. Einiges über Wetteranzeigen 917

Naturlehre.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Naturlehre.

Erster Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

Einleitung.

1. Es iſt eine unläugbare Thatſache des Bewußtſeyns, daß wir Vorſtellungen haben, zu welchen wir auf dem Wege ſinnlicher Wahrnehmung gelangen. Alles, was ſinnlich wahrgenommen wird, nennen wir im Allgemeinen Erſcheinung oder Phänomen. Sinnliche Wahrnehmungen, beſonders jene, welche der Taſtſinn vermittelt, nöthigen uns, etwas im Raume Exiſtirendes anzunehmen, was den objektiven Grund der Erſcheinungen abgibt. Wir bezeichnen es mit dem Worte Materie. Exiſtenz im Raume iſt ohne Ausdehnung nicht denkbar; die Materie muß demnach ausgedehnt ſeyn. Materie von begrenzter Ausdehnung nennen wir Körper, und den Inbegriff der Körper Natur in materieller Bedeutung, wohl auch Sinnenwelt, Körperwelt.

In formeller Bedeutung bezeichnet das Wort Natur das innere Princip alles deſſen, was zum Daſeyn eines Dinges gehört. In dieſem Sinne wird es genommen, wenn man z. B. von der Natur des Waſſers, des Goldes u. ſ. w. ſpricht.

2. Die Betrachtung der Natur eröffnet uns eine Quelle von Erſcheinungen, deren Inbegriff Naturkunde, dies Wort im weiteſten Sinne genommen, genannt werden kann. Diejenigen dieſer Erkenntniſſe, welche der aus einerlei Standpunct unternommenen Naturbetrachtung entſprechen, laſſen ſich in ſyſtematiſche Verbindung bringen und ſtellen dann eine Wiſſenſchaft dar. Es kann demnach eben ſo viele verſchiedene Naturwiſſenſchaften geben, als Geſichtspuncte ſind, von denen man bei der Naturforſchung ausgeht. Im Allgemeinen finden wir in der Natur Körper und an dieſen bemerkbare Erſcheinungen. Es kann nun die Forſchung entweder auf die Körper ſelbſt gerichtet ſeyn, und die Erſcheinungen, welche ſie uns darbieten, nur in ſo weit berühren, als ſich die Körper durch dieſelben von einander unterſcheiden; oder es ſind gerade die Erſcheinungen in der Körperwelt der eigentliche Gegenſtand der Unterſuchung, und die Körper kommen nur in ſo weit in Betrachtung, als ſie die Träger dieſer Erſcheinungen ſind Im erſten Falle handelt es ſich um die Formen der Körper und um den Zuſammenhang dieſer Formen nach dem Principe der Aehnlichkeit, im zweiten hingegen um die Geſetze und gegenſeitige Abhängigkeit der Erſcheinungen in der Sinnenwelt nach dem Principe der Cauſalität. Hieraus

entſpringen zwei Naturwiſſenſchaften, nämlich die **Naturgeſchichte**, welche die Kenntniß der Naturdinge nach ihrer Aehnlichkeit, und die **Naturlehre** in weiterer Bedeutung des Wortes, welche die Kenntniß der Naturerſcheinungen in ihrem Cauſalnexus zum Gegenſtande hat. Letztere umfaßt demnach die Kenntniß der Erſcheinungen, der Geſetze, nach denen ſie erfolgen, und der Urſachen, durch welche ſie hervorgebracht werden.

3. Zur Kenntniß der Naturerſcheinungen gelangt man auf dem Wege der ſinnlichen Wahrnehmung, der **Erfahrung**. Dieſe kann uns aber nur mit Materiale verſorgen, das weiter verarbeitet werden muß, indem das mehreren Erſcheinungen Gemeinſame herauszuſcheiden iſt, die Phänomene ſelbſt nach dieſem Gemeinſamen in Gruppen zu ordnen und die Regeln herauszuſuchen ſind, nach denen ſie ſich zutragen. Alles dieſes iſt aber Sache des Verſtandes. Dabei verfährt man nach den Geſetzen der **Induction**, d. h man nimmt an, daß eine Regel, die ſich in einer großen Anzahl willkürlich gewählter Fälle bewährt, allgemeine Gültigkeit habe, und ſomit **Naturgeſetz** ſey. Dieſes Verfahren gewährt zwar keine mathematiſche Gewißheit, ſondern nur hohe Wahrſcheinlichkeit; letztere kann aber in den meiſten Fällen der Gewißheit gleich geachtet werden. Oft werden aber auch die Naturgeſetze aus der Wirkungsweiſe der Urſachen der Erſcheinungen abgeleitet. Dieſe haben dann eben ſo viel Gewißheit, als die Wirkungsweiſe der Urſachen ſelbſt. Dabei leiſtet oft die Mathematik ganz beſondere Dienſte, weil ſie aus Prämiſſen Schlüſſe zu ziehen im Stande iſt, die man bei dem gewöhnlichen Verfahren ohne Hülfe der mathematiſchen Zeichenſprache nicht mehr zu gewältigen vermag.

Unſere Kenntniſſe tragen immer das Gepräge des anſchauenden und denkenden Subjectes an ſich, da wir Dinge außer uns nur der allen Menſchen gemeinſchaftlichen Form der Sinnlichkeit gemäß anſchauen, und über ſo gewonnene Anſchauungen nur nach Regeln denken können, die in der Natur unſeres Verſtandes gegründet ſind. Kennen wir die Geſetze unſeres Denk- und Anſchauungsvermögens, ſo ſind wir im Stande, den a priori, d. i. unabhängig von der Erfahrung beſtehenden Theil unſerer naturwiſſenſchaftlichen Erkenntniß von dem empiriſchen, d. i. lediglich durch Erfahrung gegebenen zu ſondern. Der erſtere macht die **reine** Naturlehre aus, im Gegenſatze mit der **Erfahrungsnaturlehre**, deren Quelle ſinnliche Wahrnehmungen ſind. Daß zur umfaſſenden Naturkenntniß bloße reine Naturlehre nicht hinreicht, fällt in die Augen; aber auch die Erfahrungsnatarlehre für ſich allein genügt nicht, weil zur richtigen Anwendung der Erfahrungsſätze Principien a priori nöthig ſind, und weil bloße Erfahrung keine ſtrenge Allgemeinheit, mithin keine wiſſenſchaftliche Feſtigkeit gewährt. Es iſt daher nöthig, beide Theile der Naturlehre in Verbindung zu behandeln.

4. Aus dem ſo eben Geſagten iſt klar, daß die Erfahrung als die erſte Quelle unſerer Naturkenntniß angeſehen werden müſſe. Sie iſt entweder **Beobachtung** oder **Verſuch** (Experiment). Erſteres, wenn wir das wahrnehmen, was ſich unſeren Sinnen von ſelbſt und ohne unſer Zuthun darbietet; letzteres, wenn wir die durch unſere Ein-

wirkung hervorgerufenen oder von ſelbſt eintretenden, von uns aber unter beſondere Umſtände verſetzten Erſcheinungen wahrnehmen. Man könnte füglich erſtere paſſive, letztere active Beobachtung nennen. Beim Beobachten verhält ſich der Naturforſcher wie Jemand, der eine Erzählung, ſelbſt wenn ſie undeutlich und nicht zuſammenhängend iſt, ruhig anhört, ohne den Erzähler durch Zwiſchenfragen zu unterbrechen; beim Experimentiren hingegen wie Jemand, der den Erzähler oft durch Querfragen unterbricht und über Manches weitere Aufklärung verlangt. Die Beobachtung läßt Lücken, die durch Verſuche ausgefüllt werden müſſen; ſie hat ein beſchränkteres Feld, als das Experiment, aber ſie zeigt uns die Natur in ihrer großen ungehinderten Wirkſamkeit. Zur gründlichen Erforſchung der Natur iſt eine Verbindung des Experimentes mit der Beobachtung nothwendig.

Sowohl zur Anſtellung von Beobachtungen, als auch zu Verſuchen braucht man oft Inſtrumente, deren Zweck, Beſtandtheile und Grenzen der Richtigkeit der Naturforſcher genau kennen muß, beſonders, wenn er ſie nicht bloß dazu braucht, das Stattfinden gewiſſer Erſcheinungen nachzuweiſen, ſondern ſie der Größe nach zu beſtimmen und den Einfluß jedes darauf Bezug habenden Nebenumſtandes anzugeben. Es iſt klar, daß dazu eine, nicht Jedermann eigene Geſchicklichkeit, Uebung, ruhige Beſonnenheit und ein beſonderer Scharfblick gehört. Indeß erhält der geſchickteſte Beobachter mit den beſten Inſtrumenten doch nie vollkommen fehlerfreie Reſultate, und es bleibt, um der Wahrheit möglichſt nahe zu kommen, nichts übrig, als die Operation oft genug zu wiederholen, und aus allen Reſultaten dasjenige zu ſuchen, welches mit dem geringſten Fehler behaftet iſt. Dahin gelangt man mittelſt einer beſondern Rechnungsmethode, die einen Theil der Wahrſcheinlichkeitsrechnung ausmacht. (Siehe: Die Wahrſcheinlichkeitsrechnung in ihrer Anwendung auf das wiſſenſchaftliche und praktiſche Leben, von J. J. Littrow. Wien 1833. Lehrbuch der Wahrſcheinlichkeitsrechnung und deren wichtigſten Anwendungen, von F. S. Poiſſon. Braunſchweig 1841 (aus dem Franzöſ. von Schnuſe). A Preliminary discourse on the study of natural philosophy by *J. F. W. Herschel*. London 1830. *Senebier*, l'art d'observer. Genève 1775. Deutſch: Leipzig 1776. *Nollet*, l'art des expériences. Paris 1770. Deutſch: Leipzig 1771. Handwörterbuch der Chemie und Phyſik. Berlin 1842. Art. Experiment. S. 770.)

5. Das letzte Ziel der Naturlehre iſt die **Erklärung** der Erſcheinungen, d. h. deren Ableitung aus ihren Urſachen. Beim Streben nach dieſem Ziele läßt man ſich durch das Geſetz der Analogie leiten, indem man ähnlichen Erſcheinungen ähnliche Urſachen zum Grunde annimmt. Da findet man nun oft, daß die Urſache einer Erſcheinung ſelbſt wieder eine Erſcheinung iſt und ein ferneres Aufſuchen ihrer Urſache nöthig macht. So kommt man durch eine Reihe von Erſcheinungen, die zugleich Urſache und Wirkung ſind, zuletzt auf eine ſolche, für welche man keinen ſinnlich wahrnehmbaren Grund mehr findet, entweder weil es wirklich keinen ſolchen mehr gibt und die zu erklärende Erſcheinung wirklich das letzte Glied der ſinnenfälligen Kette iſt, oder weil unſere beſchränkte Kenntniß nicht weiter ins Reich des Sinnlich-wahrnehmbaren hineinreicht. Eine ſolche Erſcheinung nehmen wir dann

als das unmittelbare Reſultat der Natureinrichtung an, und bezeichnen die nicht ſinnlich wahrnehmbare Urſache derſelben mit dem Worte Kraft.

6. Nicht immer gelingt es dem Naturforſcher, über die Urſache einer Erſcheinung volle Gewißheit zu erlangen, und er iſt oft genöthiget, einen dem gewöhnlichen Gange der Natur gemäßen Grund für die zu erklärende Erſcheinung anzunehmen. Eine ſolche Vorausſetzung heißt eine Hypotheſe. In der Annahme von ſolchen hypothetiſchen Urſachen weichen die Naturforſcher oft ſtark von einander ab, indem man für dieſelbe Erſcheinung verſchiedene Urſachen annimmt. Jene, welche die betreffende Erſcheinung am leichteſten, einfachſten und mit den wenigſten Umſchweifen und Hülfsmitteln erklärt, ohne einer anerkannten Wahrheit zu widerſprechen, und welche die meiſte Analogie mit als richtig erwieſenen für ſich hat, verdient vor den übrigen den Vorzug, und kann ſo lange dem wahren Grunde ſubſtituirt werden, als dieſer noch verborgen iſt. Als wahre Urſache kann ſie aber erſt dann gelten, wenn ſie entweder als Erſcheinung vorkommt, oder die Erſcheinungen nicht bloß im Allgemeinen und der Qualität, ſondern auch der Quantität nach erklärt, mithin, der Rechnung unterworfen, Reſultate gibt, die mit der Erfahrung übereinſtimmen, oder endlich, wenn bewieſen iſt, daß die Erſcheinungen in ihrem Zuſammenhange nicht anders, als durch die gemachte Annahme erklärt werden können.

Einige Naturlehrer erklären die Erſcheinungen des Lichtes durch die Annahme eines von leuchtenden Körpern ausſtrahlenden Lichtſtoffes, andere durch Schwingungen einer ätheriſchen Flüſſigkeit. Erſtere Erklärung ſteht letzterer weit nach weil ſie Hilfshypotheſen braucht, die letztere entbehren kann. Eben ſo verhält es ſich mit der Annahme negativ ſchwerer Körper; denn ſie widerſpricht der Erfahrung, welche lehrt, daß alles, deſſen Materialität erwieſen iſt, poſitiv ſchwer ſey. Die Luftelektricität war ſo lange ein bloß hypothetiſches Weſen, bis Franklin ihr Daſeyn factiſch nachwies; die elliptiſche Bewegung der Planeten um die Sonne iſt keine Hypotheſe mehr, weil ſich aus ihr, und nur aus ihr allein, alle dahin gehörenden Erſcheinungen der Größe nach genau ſo ergeben, wie ſie die Erfahrung nachweiſet.

7. Schon oft war man ſo glücklich, eine vorerſt nur hypothetiſch angenommene Urſache als wahren Grund der Erſcheinungen zu erkennen. In einem ſolchen Falle hat alſo die Annahme einer Hypotheſe der Wiſſenſchaft erheblichen Nutzen gebracht; aber wenn es auch nicht ſo weit damit kommt, ſo kann eine Hypotheſe unſerem Wiſſen doch ſehr förderlich ſeyn, wenn man ſie nur mit Vorſicht braucht und dabei nie vergißt, daß man es nicht mit einem erwieſenen Grunde zu thun hat; denn man kann mit Hülfe einer ſolchen Erſcheinungen in einen Zuſammenhang bringen, die ſonſt iſolirt daſtünden, ja ſogar die Erklärung derſelben vorbereiten, wie dieſes ſchon oft geſchehen iſt.

8 Es gibt ſo viele Körper und ſo mannigfaltige Erſcheinungen an denſelben, daß ein menſchlicher Geiſt nicht vermag, ſein Wiſſen auf alle auszudehnen. Man iſt deßhalb genöthiget, bei der Bearbeitung

der Naturlehre die Erſcheinungen, durch welche das Leben der organiſirten Weſen, des Menſchen, der Thiere und der Pflanzen ſich äußert, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen, von denjenigen abzuſondern, welche die lebloſen Körper darbieten. Die Betrachtung der erſteren iſt Gegenſtand der Phyſiologie, die der letzteren Gegenſtand der Naturlehre im engeren Sinne des Wortes oder der ſogenannten Phyſik. Die Phyſik bahnt der Phyſiologie den Weg, daher geht bei dem wiſſenſchaftlichen Unterrichte jene dieſer voran.

9. Selbſt die Phyſik hat gegenwärtig ſchon eine ſo große Ausdehnung erlangt, daß ein Menſchenleben nicht mehr hinreicht, alle Schätze des phyſikaliſchen Wiſſens vollſtändig in ſich aufzunehmen. Deßhalb iſt man genöthigt, zum Behufe des Unterrichtes, die durch Faßlichkeit ſich auszeichnenden Hauptlehren unter der Benennung Elementarphyſik zuſammen zu faſſen, und hiedurch zum Studium der höheren Phyſik vorzubereiten. Die Elementarphyſik heißt insbeſondere Experimentalphyſik, wenn ſie die Richtigkeit ihrer Behauptungen mehr durch Hinweiſung auf Thatſachen darzuthun ſucht, als durch Ableitungen der Geſetze der Erſcheinungen aus den erſten Gründen mittelſt mathematiſcher Deduction, im Gegenſatze mit der theoretiſchen Phyſik, welche der mathematiſchen Methode ſich bedient. Auch werden, der Reichhaltigkeit des Materiales wegen, einzelne Zweige der Naturlehre als für ſich beſtehende Wiſſenſchaften bearbeitet. Hierauf gründet ſich die Zerfällung der Naturlehre in die mechaniſche, welche es mit den räumlichen Veränderungen der Körper zu thun hat, und in die chemiſche Naturlehre oder Chemie, welche von den Veränderungen der inneren materiellen Beſchaffenheit handelt. Aber auch einzelne Partien der mechaniſchen Naturlehre laſſen ſich als beſondere Wiſſenſchaften darſtellen, wie die Mechanik, Optik, Aſtronomie u. ſ. w ſind. Daß eine abſolute Trennung dieſer Wiſſenſchaften im Vortrage nicht möglich ſey, iſt klar. Im vorliegenden Werke, welches den Anfangsgründen der theoretiſchen Phyſik gewidmet iſt, wird das Weſentlichſte aller hier genannten Wiſſenſchaften vorgetragen, und es hat zur Aufgabe, die allgemeinen Veränderungen der Körperwelt zu erklären und ihre Geſetze nachzuweiſen.

10. Der Nutzen, den die Naturlehre dem Menſchen als Mitglied eines Staates oder als moraliſchem Weſen verſchafft, iſt ſo groß, daß er hier nur kurz angedeutet, keineswegs erſchöpfend aus einander geſetzt werden kann. Alle techniſchen Gewerbe ſind ihrer Vollkommenheit deſto näher, je mehr das bei ihrer Ausübung gebräuchliche Verfahren auf den Naturgeſetzen beruht, mit deren Entwicklung ſich die Phyſik beſchäftiget; der Ackerbau bedarf derſelben Geſetze, um ſeine Producte nachhaltig zu gewinnen und ſeine Kräfte zweckmäßig anzuwenden; der Handel zu Waſſer und zu Lande nimmt die Naturlehre in Anſpruch, und dieſelbe Wiſſenſchaft iſt es, welche die Waffe ſchmieden und führen lehrt, die den Feind des Vaterlandes im Zaume hält. Nicht kleiner iſt der moraliſche Nutzen der Naturlehre: Sie iſt die Lehrerin der Klugheit, indem ſie die Erfolge mancher Ereigniſſe voraus-

ſehen lehrt, ſie predigt Demuth und Beſcheidenheit, indem ſie uns die Größe und Herrlichkeit der Natur und die Unmöglichkeit, ſie ganz zu begreifen darſtellt; ſie zeigt aber auch die Größe des menſchlichen Geiſtes von der ſchönſten Seite, und flößt Vertrauen zu unſeren Kräften ein. Man kann mit vollem Rechte von der ganzen Phyſik das ſagen, was ein großer Genius der Deutſchen von einem ihrer Theile, der Sternkunde, ſagt: Daß ſie dem Menſchen ein erhabenes Herz gibt, und ein Auge, das über die Erde hinausreicht, und Flügel, die in die Unermeßlichkeit heben, und einen Gott, der nicht endlich, ſondern unendlich iſt.

Erſter Abſchnitt.

Von Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Eigenſchaften und Kräfte der Körper.

11. Wenn wir unſere Aufmerkſamkeit auf die Eigenſchaften der Naturdinge richten, ſo finden wir, daß einige von ihnen allen Körpern zukommen; wir nennen ſie allgemeine Eigenſchaften derſelben. Dieſe ſind von zweierlei Art. Die einen ſind mit dem Weſen der Körper, ſo weit wir ſelbes begreifen, aufs innigſte verbunden, und wir würden einen Körper nicht mehr als ſolchen erkennen, wenn ihm eine dieſer Eigenſchaften genommen würde. Dahin gehören die Ausdehnung, Undurchdringlichkeit und Trägheit. Die andern zeigt uns zwar die Erfahrung in allen Körpern, doch ſind ſie nicht Bedingungen der Erkennbarkeit derſelben, und wir würden einen Körper ſelbſt dann noch als ſolchen erkennen, wenn ihm auch eine oder mehrere dieſer Eigenſchaften mangelten. Von dieſer Art ſind die Ausdehnbarkeit und Zuſammendrückbarkeit, die Theilbarkeit, Poroſität und die Schwere.

12. Alles Körperliche exiſtirt für uns im Raume, iſt alſo ausgedehnt, und hat, weil es in ſeiner Ausdehnung begrenzt iſt, eine gewiſſe Form der Begrenzung, d. i. eine beſtimmte Geſtalt oder Figur. Denkt man ſich aus dem Raume, den ein Körper einnimmt, die Materie hinweg, ſo bleibt die Vorſtellung des ſogenannten leeren Raumes oder des geometriſchen Körpers übrig. Was die Geometrie von dieſem lehrt, bezieht ſich demnach auch auf den Raum eines phyſiſchen Köpers nach ſeiner Größe und Form, und auf die mit dieſem Raume zugleich gegebenen Flächen, Linien und Puncte. Der Raum, den ein Körper einnimmt, lediglich in Hinſicht auf ſeine Größe betrachtet, heißt deſſen Rauminhalt oder Volum. Man muß, um ihn nach den Vorſchriften der Geometrie meſſen und durch eine Zahl ausdrücken zu können, ein beſtimmtes Volum als Einheit annehmen. Die ſchicklichſte Einheit zur Ausmeſſung der Rauminhalte der Körper gründet ſich auf jene, mittelſt welcher die Längen gemeſſen werden. Dieſe Einheit iſt eine gerade Linie von feſtgeſetzter Länge. Das

Quadrat, deſſen Seite dieſer Längeneinheit gleich iſt, dient als Einheit der Flächen, und der Würfel, welcher die Längeneinheit zur Seite hat, als Einheit der Volume. Als Längeneinheit wird, um ſowohl allzu große Zahlen, als allzu kleine Brüche zu vermeiden, nicht ſtets dieſelbe Länge angenommen, nur müſſen die verſchiedenen Längen, deren man ſich zu dieſem Behufe bedient, in beſtimmten Verhältniſſen ſtehen, damit man die Reſultate der Meſſung oder Rechnung nach einer dieſer Einheiten, wenn es nöthig iſt, in jene umſetzen kann, welche auf der Annahme einer andern Einheit beruhen. Ueberdieß iſt die lineare Einheit in verſchiedenen Ländern hinſichtlich der Größe, Eintheilung und Benennung der Theile und Vielfachen verſchieden. Wir werden uns im Folgenden größtentheils des ſogenannten *Wiener* Maßes bedienen.

Die Grundlage des Wiener Längenmaßes iſt die Klafter; ſie wird bekanntlich in ſechs gleiche Theile, Schuh oder Fuß genannt, eingetheilt. Der Fuß enthält 12 Zoll, der Zoll 12 Linien, die Linie 12 Puncte; häufig aber gibt man nur Decimaltheile der Klafter, des Schuhes, Zolles, der Linie an. Beſondere Längenmaße ſind die Wiener Elle = 2 465 Fuß = 29,58 Zoll; die öſterr. Meile = 4000 Kl.; die Fauſt des Pferdmaßes = 4 Zoll; der Strich des Rekrutenmaßes = $^1/_4$ Z.

Die Grundlage des *Flächenmaßes* iſt die Quadratklafter, d. h. die Fläche eines Quadrates, deſſen Seite eine Klafter beträgt. Die Quadratklafter faßt daher 6 × 6 = 36 Quadratfuß, der Quadratfuß 12 × 12 = 144 Quadratzoll, der Quadratzoll 144 Quadratlinien. Es kommen daher auf den Quadratfuß 144 × 144 = 20736 Quadratlinien, und auf die Quadratklafter 36 × 1 44 = 5184 Quadratzoll oder 5184 × 144 = 746496 Quadratlinien. Ein *Joch* Feldmaß hat 1600 Quadratkl. oder iſt einem Quadrate von 40 Kl. Seite gleich. Ein Metzen hält $^1/_4$ Joch, ein Tagwerk $^2/_4$ Joch, ein Viertel Weingarten $^1/_2$ Joch, ein Pfund Weingarten $^1/_{20}$ Joch.

Rauminhalte werden durch *Kubikklafter* gemeſſen, d. h durch einen Würfel, deſſen Seite eine Klafter iſt. Eine ſolche enthält $6^3 = 216$ K. F., der Kubikfuß enthält $(12)^3 = 1728$ Kubikzoll, der Kubikz. 1728 Kubiklinien. Es kommen alſo auf den Kubikfuß $(1728)^2 = 2985984$ Kubiklinien, und auf die Kubikklafter 216 × 1728 = 373248 Kubikzolle. Beſondere Maße für Flüſſigkeiten (Hohlmaße) ſind der Wiener Eimer = 1,792 Kubikfuß von 40 Maß, jede zu 4 Seitel; der *Metzen* = 1 947 Kubikfuß; das *Faß* von 10 Eimern, der *Muth* von 30 Metzen, der *Kohlenſtiebich* von 2 Metzen, das *Kalkmittel* von $2^1/_2$ Metzen. Eine Maß enthält 0,0448 Kubikfuß oder 77 4144 Kubikzoll; ein Kubikfuß 22 32 Maß.

Nächſt der Kenntniß des Wiener Maßes iſt noch jene des in neueren Unterſuchungen häufig vorkommenden *neufranzöſiſchen* oder *metriſchen* Maßes unentbehrlich. Als Grundlage deſſelben dient der *Meter* (Mètre), deſſen Länge dem zehnmillionſten Theile des nördlichen Meridianquadranten der Erde gleichkommt. Der zehnte Theil des Meter heißt *Decimeter*, der hundertſte *Centimeter*, der tauſendſte *Millimeter*. Zehn Meter geben einen *Dekameter*, zehn Dekameter oder hundert Meter einen *Hektometer*, zehn Hektometer oder tauſend Meter den *Kilometer*, zehntauſend Meter den *Myriameter*. Bei allen übrigen Einheiten dieſes Maßes, welche als ſelbſtſtändige angeſehen und mit eigenen Namen belegt werden, findet dieſelbe Bezeichnung des zehnten, hundertſten, tauſendſten Theiles durch Vorſetzung der Sylben Deci, Centi, Milli, und der Zehnfachen, Hundertfachen, Tauſendfachen durch Vorſetzung der Sylben

Deka, Hekto, Kilo Statt. Der Umſtand, daß ſammtliche Eintheilungen und Vervielfältigungen dekadiſch fortſchreiten, erleichtert die Reduction höherer Einheiten auf niedrigere, und umgekehrt dieſer auf jene, ungemein. Das Quadrat, deſſen Seite 10 Meter faßt, wird unter der Benennung Are als Feldmaß gebraucht. Ein Hektare macht daher 10000 Quadratmeter aus. Der Kubikmeter heißt Stere, der Kubikdecimeter heißt Liter. Ein Kiloliter iſt folglich einem Kubikmeter gleich.

Zur Vergleichung verſchiedener Maße dienen folgende Zahlenangaben:

1 Wiener Fuß hält 0,3161023 Meter,
1 » Zoll » 0,0263418 »
1 » Linie » 2,195 Millimeter,
oder umgekehrt:
1 Meter = 3,163532 Wiener Fuß = 3 F. 1 Zoll 11,549 L. = 37,9624 Z.,
1 Millimeter = 4,5555 Linien,
1 Liter = 54,7093 Kubikzoll = 2,827 Seitel,
1 Pariſer Fuß = 0,324839 Meter,
1 engliſcher » = 0,304801 »
1 preußiſcher F. = 0,313795 »
1 bayeriſcher Fuß = 0,243217 »
1 würtembergiſcher Fuß = 0,286490 Meter,
1 heſſiſcher Fuß = 0,25 Meter,
1 badiſcher Fuß = 0,3 »
1 ſchwediſcher Fuß = 0,296901 Meter,
1 däniſcher » = 0,313760 »
1 ruſſiſcher Arſchin = 0,711203 »

Zur Beſtimmung linearer Ausdehnungen bedient man ſich guter Maßſtäbe, die, um die Schärfe der Meſſung möglichſt weit zu treiben, mit einem Nonius oder Vernier verſehen ſind.

Nonius heißt eine, in gleiche Theile getheilte Linie, die ſich an einem Maßſtabe verſchieben läßt, und dazu dient, kleinere Theile zu meſſen, als unmittelbar am Maßſtabe ſelbſt durch Theilung erſichtlich gemacht werden können. Iſt a der Abſtand zweier unmittelbar auf einander folgenden Theilſtriche des Maßſtabes, und dieſer Abſtand in n gleiche Theile zu theilen; ſo erhält der Nonius entweder die Länge $(n + 1)a$ oder $(n - 1)a$, und wird in n gleiche Theile getheilt. Die Länge eines Noniustheiles iſt im erſten Falle $= \frac{(n+1)a}{n} = a + \frac{a}{n}$ und im zweiten $= \frac{(n-1)a}{n} = a - \frac{a}{n}$, mithin im erſten Falle um $\frac{a}{n}$, d. h. gerade um den Längentheil, welchen man bei der Meſſung mit dem Maßſtabe noch berückſichtigen will, größer, und im zweiten um eben ſo viel kleiner, als a. Dennoch kann der Abſtand zweier beliebigen Theilſtriche auf dem Nonius ſehr leicht in Theilen des Maßſtabes angegeben werden. Wird der Maßſtab ſammt Nonius an eine zu meſſende Linie ſo angelegt, daß der Anfangspunct des Maßſtabes mit dem einen Grenzpuncte, und einer der beiden äußerſten Theilſtriche des Nonius mit dem andern Grenzpuncte dieſer Linie zuſammenfällt; ſo hat man nur darauf zu ſehen, welcher Theilſtrich des Nonius mit einem Theilſtriche des Maßſtabes ſo nahe zuſammenfällt, daß man den einen als die Verlängerung des andern betrachten kann. Da man die Entfernung dieſes gemeinſchaftlichen Theilſtriches vom Anfangspuncte des Maßſtabes und von jedem der äußerſten Theilſtriche des Nonius kennt; ſo kann hieraus die Länge der zu meſſenden Linie leicht abgeleitet wer-

den, und der Fehler der Meſſung wird nicht größer ſeyn als $\frac{a}{2n}$. Man kann ſich dabei ſtets ſo benehmen, daß dieſes Geſchäft auf einer einfachen Addition beruht, wie aus folgendem Beiſpiele zu erſehen iſt: Es ſeyen bei der Meſſung mit einem Maßſtabe, der nur in Linien getheilt iſt, mittelſt des Nonius noch Zehntel einer Linie anzugeben. Da kann die Länge des Nonius entweder 11 oder 9 Linien betragen, und dieſe Länge erſcheint auf dem Nonius in 10 gleiche Theile getheilt. Der Unterſchied zwiſchen einem Intervall des Maßſtabes und des Nonius iſt ſodann $^1/_{10}$ Linie. Wäre nun, vorausgeſetzt, daß die Länge des Nonius = 11 Linien angenommen worden, mittelſt eines ſo eingerichteten Maßſtabes die Linie AB (Fig. 1) zu meſſen, und fände man, daß, wenn man das Ende A mit dem Anfangspuncte des Maßſtabes ab zuſammenfallen läßt, das andere Ende B zwiſchen zwei Theilſtriche H und K des Maßſtabes fällt; ſo darf man nur den Nonius cd dahin verſchieben, daß ein Ende deſſelben, gleichviel ob c oder d, mit B zuſammenfällt. Trifft nun der erſte, zweite, dritte ꝛc Theilſtrich des Nonius, nach der Richtung dc oder BA gezählt, in die Verlängerung eines Theilſtriches des Maßſtabes; ſo iſt das durch den Nonius zu meſſende Stück HB = $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ ꝛc., alſo in dem Falle, den die Figur darſtellt, = $^2/_{10}$ einer Linie. Wollte man aber den Nonius cd nur 9 Linien lang nehmen, ſo wäre die Stellung des mit einem Theilſtriche des Maßſtabes harmonirenden Striches auf dem Nonius in der Richtung cd oder AB zu zählen, mithin bei der Bezifferung des Nonius die den Anfangspunct der Zählung anzeigende Nulle nicht wie in der Figur an das Ende d, ſondern an c zu ſetzen. Es iſt klar, daß man auf ähnliche Weiſe auch Stücke von Kreisbögen mittelſt Nonien meſſen kann. (Beſſel, über Maß und Gewicht in Schumacher's Jahrbuch für 1840. S. 117.)

13. Die Erfahrung lehrt, daß die Figuren der Körper höchſt mannigfaltig und ſehr oft regelmäßig oder wenigſtens ſymmetriſch ſind, wie man an allen kryſtalliſirten Körpern des Mineralreiches und an unzähligen Producten der organiſchen Reiche, am Gewebe feiner Häute, an Schmetterlingsflügeln, Haaren vom Maulwurfe, Reh ꝛc. bemerkt, in welcher Beziehung mikroſkopiſche Beobachtungen beſonders lehrreich ſind, und häufig da die größte Ordnung erkennen laſſen, wo das unbewaffnete Auge keine Spur davon wahrnimmt. Manche Körper zeigen eine ſelbſtſtändige Geſtalt, andere hingegen richten ſich immer nach dem Gefäße, deſſen ſie zu ihrer Aufnahme bedürfen.

14. Daß die für uns erkennbaren Körper einen Raum erfüllen, lehren uns die Wahrnehmungen mittelſt des Taſtſinnes. Das Organ erfährt nämlich, indem es in den Ort eines Körpers einzudringen ſucht, einen Widerſtand, und eben darin beſteht die Taſtbarkeit eines Körpers. Sie iſt ein beſonderer Fall des allgemeinen Geſetzes, daß zwei Körper nicht zu gleicher Zeit in demſelben Orte ſeyn können. Man bezeichnet dieſe Eigenſchaft mit dem Worte Undurchdringlichkeit. Sie unterſcheidet den phyſiſchen Körper vom mathematiſchen. Das Undurchdringliche eines Körpers iſt zugleich das Materielle deſſelben oder deſſen Maſſe.

Die Undurchdringlichkeit beweiſen unzählige Erſcheinungen: Wirft man einen Stein in ein Gefäß mit Waſſer, ſo ſteigt letzteres um das Volum

des Steines. Iſt das Gefäß cylindriſch, ſo erfolgt dieſes Steigen um einen Cylinder vom Volum des Steines, und kann demnach leicht gemeſſen werden, ſo unregelmäßig auch der Stein ſeyn mag. Will man eine Flüſſigkeit von einem Gefäße in ein anderes überfüllen, ſo geht dieſes nur an, wenn aus letzterem die Luft entweichen kann. Enghalſige Flaſchen füllen ſich darum ſo ſchwer. Gußformen müſſen darum eigene Oeffnungen erhalten, durch welche die Luft entweichen kann, ſonſt gelingt der Guß nicht. Beim Eintritte in ein Zimmer wird immer eine Luftmaſſe vom Volum des Eintretenden verdrängt, und ein eben ſo großes Luftvolum kehrt ins Zimmer zurück, wenn man daſſelbe verläßt; daher öfteres Aus- und Eingehen ein Zimmer lüftet. Kirchen, Theater, Hörſäle ꝛc. erhalten hiedurch einen großen Theil ihrer nöthigen Lüftung. Ein mit der Oeffnung nach abwärts gekehrtes, in Waſſer geſenktes Glas füllt ſich nicht mit Waſſer, weil daraus die Luft nicht entweichen kann. Ein Gewehr kann man nicht mit einer gut ſchließenden Kugel laden, wenn das Zündloch geſchloſſen iſt.

15. Die Materie kann ihren Zuſtand nicht ſelbſtthätig ändern, ſondern bedarf dazu einer äußeren oder inneren, von ihr ſelbſt verſchiedenen Urſache. Man nennt ſie darum **träge**, oder ſchreibt ihr die Eigenſchaft der **Trägheit** zu. Alle ſinnlich wahrnehmbaren Veränderungen in der Natur laſſen ſich darauf zurückführen, daß Körper oder Körpertheile ihren Ort verlaſſen und in einen andern übergehen, d. h. ſich **bewegen**. Demnach beſteht die Trägheit der Körper in dem Unvermögen derſelben, ſich ſelbſt zu bewegen, oder wenn ſie einmal in Bewegung ſind, dieſe abzuändern und in Ruhe überzugehen. Trägheit iſt eine mit dem Weſen der Materie ſo innig verbundene Eigenſchaft, daß wir nicht umhin können, bei jeder Veränderung derſelben die Urſache der Veränderung von der Materie getrennt zu denken, auch wenn ſie nicht außer ihr zu finden iſt, wie z. B. bei den lebenden Körpern. Selbſt dem Gedankendinge, welches der mathematiſche Phyſiker bei ſeinen Betrachtungen einen **materiellen** Punct nennt, legt er Trägheit bei, ungeachtet er es weder für ausgedehnt, noch für undurchdringlich anſieht.

In der Erfahrung ſtellt ſich uns die Trägheit der Körper bei jeder Bewegung und jeder Veränderung derſelben unzweideutig dar: Ein Körper, den wir auf einem ebenen Boden hinrollen, läuft deſto weiter, je gleicher der Boden iſt, d. h. je weniger er mit Hinderniſſen zu kämpfen hat; ein ſchwerer Wagen, der in der Ebene in Bewegung geſetzt worden, läuft von ſelbſt eine Strecke bergauf; die Himmelskörper ſind ſeit Erſchaffung der Welt in Bewegung, ohne neuer Anſtöße zu bedürfen. In ſchneller Bewegung befindliche, an einem Theile plötzlich aufgehaltene Körper zerreißen, indem ſich der aufgehaltene Theil von dem andern trennt, wie man dieſes beim Anſtoßen ſchwer bewegter Laſten, z. B. eines Eiſenbahntrains bemerkt. Hiernach ſind alle Mittel zu beurtheilen, welche man vorgeſchlagen hat, ſchnell fahrende Trains plötzlich aufzuhalten. Auf ſolche Weiſe könnte es geſchehen, daß der Körper eines Menſchen, der aus einem ſchnell dahin fahrenden Wagen ausſpringt, beim Auftreten auf den Boden zerreißen würde, indem ſich die plötzlich aufgehaltenen Füße vom Oberleibe trennten. Auf der Trägheit der Materie beruht das Ausſchlingen einer mit Tinte überfüllten Schreibfeder oder eines naſſen Tuches, das Abfallen eines Reiters, wenn das Pferd plötzlich inne hält ꝛc. ꝛc.

16. Aus der Trägheit der Materie folgt von ſelbſt ihre **Beweglichkeit**, ſo daß demnach letztere eben ſo gut eine allgemeine Eigenſchaft der Körper iſt, wie erſtere. Das paſſive Verhalten der Maſſe, welches die Trägheit derſelben ausmacht, geht nämlich nicht bloß ſo weit, daß dieſe ihren Zuſtand nicht durch ſich ſelbſt ändern kann, ſondern es erſtreckt ſich auch dahin, daß die Materie durch ſich ſelbſt einer Anregung zur Bewegung nicht zu widerſtehen vermag, mithin **beweglich** iſt. Man kann daher die Maſſe eines Körpers auch als das **Träge** oder das **Bewegliche** im Raume definiren. Von der Beweglichkeit der Körper überzeugen wir uns bei jedem Schritte, indem alles in der Natur in Bewegung iſt.

17. Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß jede Veränderung des Zuſtandes eines Körpers durch eine von demſelben verſchiedene Urſache hervorgebracht werden müſſe. Dieſe iſt entweder activ und heißt dann **Kraft**, oder paſſiv und wird **Hinderniß** genannt. Demnach iſt **Kraft** dasjenige, was einen Körper bewegt oder zu bewegen ſucht. Jede Kraft wirkt unmittelbar nur auf einen Punct, den ſogenannten **Angriffspunct**, den ſie nach einer gewiſſen Linie hin, welche die **Richtung** der Kraft anzeigt, mit einer gewiſſen Stärke, die uns von der Größe der **Intenſität** der Kraft einen Begriff geben kann, in Bewegung zu ſetzen ſucht. Ein Hinderniß hat ſtets dieſelbe Wirkung zur Folge, wie eine der Bewegung entgegen wirkende Kraft, und kann daher im Gedanken gegen eine ſolche vertauſcht werden.

18. Alle bewegenden Kräfte, welche in der Natur thätig ſind, bringen ihre Wirkung nur während einer gewiſſen Zeit hervor, jedoch iſt dieſe in manchen Fällen ſo klein, daß ſie ſich unſerer Wahrnehmung gänzlich entzieht. Dieſer Umſtand veranlaßt uns zweierlei Arten bewegender Kräfte zu unterſcheiden, nämlich **momentane**, d h. ſolche, die nur einen Augenblick wirken, hernach aber das Bewegliche ganz ſich ſelbſt überlaſſen, und **continuirliche**, d. h ſolche, deren Thätigkeit durch eine angebbare Zeit ununterbrochen fortdauert. Die Aeußerung einer momentanen Kraft heißt auch **Stoß**, die einer continuirlichen **Druck** oder **Zug**.

19. Die Größen gleichartiger Kräfte laſſen ſich durch bloße Betrachtung der von ihnen ausgehenden Anregung zur Bewegung mit einander vergleichen, ohne daß es nöthig iſt, die Bewegung ſelbſt, die ſie hervorzubringen vermögen, in Erwägung zu ziehen. Zwei Kräfte, die auf denſelben Punct nach gerade entgegengeſetzten Richtungen wirkend, ſich gegenſeitig aufheben, oder, wie man zu ſagen pflegt, einander das **Gleichgewicht** halten, müſſen offenbar **gleiche** Größen haben. Eben ſo muß aus der vereinten Thätigkeit zweier, dreier u. ſ. w. nach derſelben Richtung wirkender gleicher Kräfte eine doppelte, dreifache u. ſ. w. Kraft entſpringen, und überhaupt die aus der Vereinigung beliebiger, nach derſelben Richtung thätiger gleichartiger Kräfte hervorgehende Kraft als die Summe der einzelnen Kräfte betrachtet werden. Demnach kann man ſich die Intenſität jeder vorhandenen momentanen oder continuirlichen Kraft durch eine Zahl vorſtellen, ſo-

bald man die Stärke einer feſtgeſetzten Kraft jeder Art als Einheit gewählt, und durch die Zahl 1 bezeichnet hat. Es haben dann zwei Kräfte deren jede = 1 iſt, nach einerlei Richtung angebracht, den Zahlenwerth = 2, drei ſolche Kräfte den Werth = 3 u. ſ. w., ſo wie jeder von zwei oder drei gleichen Kräften u. ſ. w. die zuſammen der Kraft 1 gleich gelten, der Zahlwerth $^1/_2$ oder $^1/_3$ u. ſ. w. gehört.

20. Das Beſtreben einer bewegenden Kraft beſteht dem Geſagten zufolge darin, den Angriffspunct, und wenn mit demſelben eine Maſſe in Verbindung ſteht, auch dieſe zu bewegen, d. h. ſie zu beſtimmen, in einer beſtimmten Zeit einen beſtimmten Weg zurückzulegen. Wenn auch die Kraft nur momentan wirkt, ſo erzeugt ſie doch eine dauernde Bewegung, und wenn kein Hinderniß obwaltet, ſo folgt die bewegte Maſſe einer geraden Linie und legt in gleichen Zeiten auch gleiche Wege zurück. Man nennt eine ſolche Bewegung eine gleichförmige. Das Beſtreben des Beweglichen, die einmal begonnene Bewegung unabhängig von der bewegenden Kraft bloß vermöge der Trägheit fortzuſetzen, heißt deſſen Geſchwindigkeit. Man mißt ſie bei der gleichförmigen Bewegung durch den Weg, der in einer Zeiteinheit, z. B. in einer Secunde, wirklich zurückgelegt wird. In dieſem Sinne iſt der Satz zu nehmen: Eine Flintenkugel hat eine Geſchwindigkeit von 1200 Fuß, eine Kanonenkugel eine ſolche von 800 F., ein Dampfwagen eine von 30 F. ꝛc. Eine continuirliche Kraft läßt ſich als eine Summe von momentanen Kräften betrachten, deren Wirkungen unmittelbar ohne Zwiſchenzeit auf einander folgen. Hier muß alſo das Bewegliche zu der Geſchwindigkeit, die es vermöge der vorausgegangenen Wirkungen der Kraft ſchon hat, in jedem Augenblicke einen neuen Zuwachs erhalten, oder deſſen Geſchwindigkeit muß mit der Zeit wachſen. Man nennt eine ſolche Bewegung eine beſchleunigte. Bei dieſer wird die Geſchwindigkeit durch den Weg gemeſſen, den das Bewegliche in einer Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn die bewegende Kraft von dem Zeitpuncte an, für welchen man die Geſchwindigkeit meſſen will, zu wirken aufhörte und das Bewegliche ſich ſelbſt überließe. Hat ein Bewegliches in dem Augenblicke, in welchem die Wirkung einer continuirlichen Kraft beginnt, eine gewiſſe Geſchwindigkeit, und iſt die Bewegung beſagter Kraft jener der Geſchwindigkeit entgegengeſetzt; ſo wird dieſe Geſchwindigkeit in jedem Augenblicke um eine gewiſſe Größe vermindert und ſo eine Bewegung erzeugt, welche man verzögerte nennt. Wie bei dieſer die Geſchwindigkeit gemeſſen werde, iſt für ſich aus dem Vorhergehenden klar.

21. Daß dieſelbe momentane Kraft demſelben Beweglichen immer dieſelbe Geſchwindigkeit ertheile, wenn ſie es von der Ruhe in Bewegung bringt, iſt für ſich klar; die Erfahrung lehrt aber, daß ſelbſt der Zuwachs an Geſchwindigkeit, den eine Kraft einem ſchon in Bewegung begriffenen Beweglichen zu Theil werden läßt, jener Geſchwindigkeit gleicht, welche dieſelbe Kraft dem ruhenden Beweglichen zu ertheilen vermag. Verſchiedene momentane Kräfte ertheilen demſelben Beweglichen verſchiedene Geſchwindigkeiten, und zwar ſind, der Erfahrung

zu Folge, die Geſchwindigkeiten den auf oben (19) erklärte Art gemeſſenen Kräften proportionirt. Es erzeugt nämlich die doppelte Kraft eine doppelte, die dreifache Kraft eine dreifache Geſchwindigkeit. Für Kräfte P und p, welche zu verſchiedenen Malen auf dasſelbe Bewegliche wirken und ihnen die Geſchwindigkeiten C und c ertheilen, beſteht alſo die Proportion $P : p = C : c$. Verſchiedenen frei beweglichen Körpern ertheilt aber, der Erfahrung zu Folge, dieſelbe momentane Kraft verſchiedene Geſchwindigkeiten, und es hängt demnach die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Bewegliches von einer ſolchen Kraft fortgetrieben wird, nicht allein von der Stärke dieſer Kraft, ſondern auch von der Beſchaffenheit des Beweglichen ab. Wie nun dieſer Zuſammenhang beſchaffen ſey, lehrt folgende Betrachtung: Zwei vollkommen gleiche Körper erhalten durch gleiche Kräfte P auch gleiche Geſchwindigkeiten C. Vereinigt man dieſe zwei Körper zu einer einzigen Maſſe, ſo entſteht daraus offenbar eine doppelt ſo große Maſſe als die jedes einzelnen Körpers war; ſie iſt alſo $= 2M$, wenn die Maſſe jedes Körpers mit M bezeichnet wird. Eine Kraft, welche der Summe der beiden Kräfte P gleich iſt, mithin durch 2P bezeichnet werden muß, ertheilt aber, wie die Erfahrung lehrt, der Maſſe 2M dieſelbe Geſchwindigkeit C, welche die Kraft P der einfachen Maſſe M zu Theil werden läßt. Eben dieſe Geſchwindigkeit C erhält auch eine Maſſe 3M durch eine Kraft $= 3P$ u. ſ. w. Hieraus erſieht man, daß eine Maſſe ihre Trägheit ſelbſt in Verbindung mit einer andern gleichartigen Maſſe behauptet und daß demnach gleichartige Maſſen, welche durch ungleiche Kräfte gleiche Geſchwindigkeiten erlangen, ſich ſo zu einander verhalten, wie die Kräfte ſelbſt, und daß daher das Verhältniß der Maſſen durch das der Kräfte gegeben ſey. Da kein Grund vorhanden iſt, anzunehmen, die Trägheit eines Körpers hänge von etwas anderem ab, als von der Menge der Materie, welche er enthält, d. h. von ſeiner Maſſe; ſo dehnt man den vorhergehenden Schluß auch auf ungleichartige Körper aus und ſagt allgemein: Für die Maſſen M und m, welche durch die Kräfte P und p gleiche Geſchwindigkeiten erlangen, gilt die Proportion $M : m = P : p$. Dieſer Satz wird auch durch Erſcheinungen, welche durch die Größe der Maſſen bedingt ſind, vollkommen gerechtfertiget, wie die Folge lehren wird. Man kann demnach die Maſſen eben ſo durch Zahlen ausdrücken, wie dieſes mit Kräften geſchieht, indem man eine beliebige Maſſe als Einheit annimmt und die andern mit dieſer nummeriſch vergleicht. Als Einheit der Maſſe nimmt man in der Regel die des reinen Waſſers unter dem Volum $= 1$ und einem beſtimmten Wärmegrade an.

22. Es ſeyen P und p momentane Kräfte, welche auf die frei beweglichen Maſſen M und m einwirken und denſelben beziehungsweiſe die Geſchwindigkeiten C und c ertheilen. Nennt man Q die Kraft, welche der Maſſe M die Geſchwindigkeit c zu geben vermag, ſo iſt

$$P : Q = C : c;\ Q : p = M : m,\ \text{mithin}\ P : p = MC : mc.$$

Es verhalten ſich ſonach zwei momentane Kräfte wie die Producte aus den Maſſen, worauf ſie wirken, und den Geſchwindigkeiten, die ſie her-

vorbringen. Wählt man jene Kraft zur Einheit, die der Einheit der Maſſen die Geſchwindigkeit 1 beibringt, ſo hat man, wenn man $m = 1$, $c = 1$ ſetzt, auch $p = 1$, mithin $P = MC$. Bei dieſer Wahl der Einheiten wird alſo jede momentane Kraft durch das Product aus der bewegten Maſſe mit der erzeugten Geſchwindigkeit gemeſſen. Man nennt dieſes Product auch die Größe der Bewegung. Bewegt eine und dieſelbe Kraft die Maſſe M mit der Geſchwindigkeit C und die Maſſe M′ mit der Geſchwindigkeit C′, ſo beſteht die Gleichung $MC = M'C'$, woraus $M : M' = C' : C$ folgt. Wirkt alſo dieſelbe Kraft nach einander auf verſchiedene Maſſen, ſo ſtehen die Geſchwindigkeiten in dem verkehrten Verhältniſſe der Maſſen. Dieſe Proportion gibt ein neues Mittel an die Hand, Maſſen durch Zahlen auszudrücken.

23. Bei der Wirkung continuirlicher Kräfte hängt die Geſchwindigkeit, welche ſie erzeugen, nicht bloß von der Größe der Kräfte und Maſſen, ſondern auch noch von der Dauer ihrer Einwirkung ab; aber wenn es ſich um eine beſtimmte Zeit handelt, ſo gilt für ſie dasſelbe Geſetz, wie für momentane Kräfte, wie man ſich durch ein Verfahren, das dem in 21 befolgten gleich iſt, überzeugen kann. Für continuirliche Kräfte P und p, die den Maſſen M und m binnen der Zeit 1 die Geſchwindigkeiten G und g ertheilen, gilt die Proportion $P : p = MG : mg$. Wählt man jene Kraft zur Einheit, die der Maſſe $= 1$ binnen der Zeit $= 1$ die Geſchwindigkeit $= 1$ ertheilt, d. h. ſetzt man $p = 1$, $m = 1$ und $g = 1$, ſo iſt $P = MG$.

24. Ein und derſelbe Körper enthält nicht unter allen Umſtänden bei demſelben Volum gleich viel Maſſe; denn die Erfahrung lehrt, daß ſich der Rauminhalt eines Körpers vergrößern und verkleinern läßt, d. h. daß der Körper ausdehnbar und zuſammendrückbar iſt. Die Ausdehnung oder Zuſammendrückung kann zwar durch mechaniſche, von außen angebrachte Kräfte bewirkt werden; aber das kräftigſte Mittel, das Volum eines Körpers zu ändern, iſt Erwärmung und Erkältung Durch erſtere wird es vergrößert, durch letztere verkleinert. Wenn einige Körper, z. B. Thon, Leder, ſich in der Hitze zuſammenziehen, ſtatt ſich auszudehnen, ſo kommt dieſes auf Rechnung verflüchtigter oder zerſtörter Stoffe oder einer Aenderung in der Anordnung der Theile, und kann deßhalb nicht als der Regel widerſprechend angeſehen werden.

Befeſtiget man einen dünnen Stab von Holz, Metall oder einem andern Stoffe an einem Ende und bringt am andern ein Gewicht an, welches ihn zu verlängern ſucht; ſo bemerkt man auch eine entſprechende Verlängerung des Stabes. Ein Zwirnfaden, ein Bleidraht, ein Streifen Kautſchuk u. ſ. w. läßt ſich ſchon durch den Zug mit der Hand verlängern. Dabei wird ein ſolcher Körper allerdings auch dünner, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe, als er länger geworden iſt, ſo daß alſo eine wirkliche Vergrößerung des Volums eingetreten iſt. Wird ein ſolcher Körper am unteren Ende aufgeſtemmt und von oben mit Gewichten belaſtet, ſo wird er zuſammengedrückt und ſein Volum vermindert. — Eine metallene Kugel, die genau durch einen Ring geht,

ſo lange ſie kalt iſt, bleibt in demſelben ſtecken, wenn man ſie ohne den Ring erhitzt; füllt man ein Gefäß, das mit einer verhältnißmäßig engen Röhre verbunden iſt, mit einer Flüſſigkeit ſo weit an, daß dieſelbe in die Röhre reicht, ſo ſieht man ſie ſteigen, wenn Erwärmung eintritt; eine ſchlaffe Blaſe ſchwillt an, wenn ſie luftdicht zugebunden iſt und einem warmen Ofen genähert wird. Die Zunahme des Rauminhaltes beträgt in der Regel deſto mehr, je weiter ein Körper erhitzt wird; mit der Rückkehr der vorigen Wärme ſtellt ſich in der Regel wieder das vorige Volum ein.

25. Die Vergrößerung des Rauminhaltes eines Körpers durch Erwärmung ſteht mit der Größe dieſer Erwärmung in ſo genauer Verbindung, daß man von jener auf dieſe ſchließen kann, und es iſt die Größe der Ausdehnung eines Körpers der ſicherſte Maßſtab für die Größe der Erwärmung oder Temperatur. Das Inſtrument, welches zum Meſſen der Temperatur dient und auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht, heißt Thermometer. Man bedient ſich heut zu Tage drei verſchiedener Arten der Thermometer, nämlich der Queckſilber-, Weingeiſt- und der Luftthermometer. Hier ſoll nur von den zwei erſten die Rede ſeyn.

Die Empfindung, welche ein warmer Körper in uns erregt und die man vielleicht für den einfachſten und beſten Maßſtab der Wärme zu halten geneigt ſeyn dürfte, taugt dazu nicht, weil ſie nicht allein von der Temperatur, ſondern auch von der Individualität, Gewohnheit, vom Alter, vom vorhergehenden Wärmezuſtande des Empfindenden ꝛc. abhängt. Warm erſcheint uns ein Körper, der uns Wärme im objectiven Sinne zuführt, kalt derjenige, der ſie uns entreißt; darum kann uns derſelbe Körper bald warm, bald kalt erſcheinen. Taucht man die Hand in kaltes Waſſer, ſo erſcheint dieſes anfangs kälter, als nach einiger Zeit; taucht man ſie in warmes, ſo finden wir auch dieſes anfangs am wärmſten, weil uns anfangs vom kalten Waſſer am meiſten Wärme entriſſen, vom warmen aber am meiſten zugeführt wird. Taucht man eine Hand in kaltes, die andere in warmes Waſſer, und nach einiger Zeit beide zugleich in laues, ſo hält man letzteres nach der Empfindung an der einen Hand für warm, an der andern für kalt.

26. Das Queckſilberthermometer beſteht aus einer gläſernen, engen, wohl kalibrirten Röhre (Fig. 2), an deren einem Ende ein ihrer Weite angemeſſenes, meiſtens kugelförmiges Gefäß angeblaſen iſt. Dieſes wird bis zu einer beſtimmten Höhe mit reinem trockenen Queckſilber gefüllt, und alle Luft, die theils im Queckſilber ſelbſt, theils zwiſchen dem Glaſe und dem Queckſilber enthalten iſt, durch Kochen ausgetrieben. Meiſtens vertreibt man auch die Luft, welche ſich oberhalb des Queckſilbers befindet, und ſchmilzt dann die Röhre zu; nur ſelten läßt man ſie offen. Ein ſo weit fertiges Thermometer wird hierauf mit einer Scale verſehen. Zu letzterem Zwecke beſtimmt man zwei Puncte an der Röhre; den einen (Eispunct) dadurch, daß man die Röhre in aufthauendes Eis ſenkt, ſo lange darin läßt, bis ſich die Länge der Queckſilberſäule nicht mehr ändert, und dann das Ende der Queckſilberſäule am Glaſe anmerkt; den andern (Siedpunct), indem

man ſie in reines, ſiedendes Waſſer hält und eben ſo verfährt. Die Folge wird lehren, mit welchen Vorſichten letzteres zu geſchehen habe. Den Abſtand dieſer zwei Puncte, Fundamentalabſtand genannt, theilt man in gleiche Theile oder Grade, und zwar in 80 nach Réaumur, in 100 nach Celſius, in 180 nach Fahrenheit. Bei der Réaumur'ſchen und Celſius'ſchen Eintheilung wird der Eispunct mit 0, bei der Fahrenheitſchen mit 32 bezeichnet. Dadurch entſpricht dem Siedpuncte bei der Réaumur'ſchen Eintheilung die Zahl 80, bei der Celſius'ſchen 100, bei der Fahrenheit'ſchen 180 + 32 = 212. Man kann dieſe Eintheilung in Grade auch noch über dem Siedpuncte und unter 0 fortſetzen. Man nennt die Grade unter 0 negative (Kältegrade), zum Unterſchiede von denen über 0, welche man poſitive (Wärmegrade) heißt. Es gibt auch Thermometer mit ungleich großen Graden. Gay-Luſſac lehrte ſie zuerſt aus ungleich weiten Röhren verfertigen. Die Conſtruction eines ſolchen beruht darauf, daß zwiſchen je zwei Theilſtrichen der Scale gleiche Raumtheile der Röhre enthalten ſind. Bei ſolchen Inſtrumenten fallen demnach die Grade ungleich aus, und zwar ſind ſie an den engeren Stellen der Röhre größer als an den weiteren. Man kann gleich an demſelben Thermometer mehrere Eintheilungen anbringen, und auch die Grade einer Eintheilung in die einer andern durch eine einfache Rechnung verwandeln.

Nennt man z. B. eine beliebige Anzahl Grade nach Réaumur R, die ihr entſprechende Anzahl nach Celſius C, nach Fahrenheit F, ſo iſt:

$$\tfrac{4}{9}(F - 32) = R,\quad \tfrac{9}{4}R + 32 = F$$
$$\tfrac{4}{5}C = R\ ,\quad \tfrac{5}{4}R = C$$
$$\tfrac{5}{9}(F - 32) = C,\quad \tfrac{9}{5}C + 32 = F.$$

Nach Deliſle's nun wohl veralteter Thermometerſcale wird der Fundamentalabſtand in 150 gleiche Theile getheilt, der Siedpunct mit 0, der Eispunct mit 150 bezeichnet. Newton hat als fixe Puncte ſeines Leinöhlthermometers den Schmelzpunct des Eiſes und die Wärme ſeines Körpers angenommen und den Abſtand in 12 gleiche Theile getheilt. Erſt nach dem Jahre 1714 wurde man über die Wahl der fixen Puncte einig, nicht aber über die Eintheilung des Fundamentalabſtandes, zu welcher viele Vorſchläge gemacht wurden. Das erſte Thermometer war ein Luftthermometer; Drebbel, ein holländiſcher Landmann, ſoll es im Jahre 1630 erfunden haben.

27. Die ſcheinbare Größe der Volumzunahme des Queckſilbers in einem Thermometer iſt eigentlich die Differenz zwiſchen der Ausdehnung des Queckſilbers und des Glaſes. Sollen demnach zwei Queckſilberthermometer übereinſtimmend ſeyn, d. h. ſollen ſie unter einerlei Umſtänden übereinſtimmende Grade angeben; ſo müſſen ſie nicht allein genau auf dieſelbe Art in ihren weſentlichen Puncten verfertiget werden, ſondern es müſſen auch Glas und Queckſilber in beiden ſich bei gleicher Erwärmung gleich ſtark ausdehnen, und die Temperaturen des aufthauenden Eiſes und des ſiedenden Waſſers müſſen bei der Scalenbeſtimmung beider Thermometer dieſelben geweſen ſeyn. Reines Queckſilber dehnt ſich in der Wärme immer nach denſelben Geſetzen aus, die Ausdehnung des Glaſes iſt wohl nicht für alle Glasſorten gleich, ſon-

dern hängt von der chemiſchen Zuſammenſetzung derſelben ab; doch kann man in den meiſten Fällen die von dieſer Ungleichheit entſtehenden Abweichungen vernachläſſigen (Pierre in Pogg. Ann. 57, 553). Die Temperatur des reinen zerſtoßenen Eiſes oder des Schnees iſt von dem Augenblicke an, wo die Schmelzung ſichtbar zu werden anfängt, bis dahin, wo die Eisſtücke oder Schneetheile mit Waſſer durchzogen ſind, vollkommen conſtant und an allen Orten und zu allen Zeiten dieſelbe; die Hitze des ſiedenden reinen Waſſers hängt aber von der Natur des Gefäßes, worin es kocht, vom Drucke der Luft während des Kochens und von der Tiefe der ſiedenden Schichte unter der Oberfläche des Waſſers ab. Die Siedpuncte zweier Thermometer ſind alſo nur dann übereinſtimmend, wenn dieſe Umſtände bei ihrer Beſtimmung dieſelben waren, oder man die unter verſchiedenen Umſtänden erhaltenen Reſultate durch Rechnung auf denſelben Stand reducirt hat. Es iſt ſogar nicht gleichgiltig, ob man die Fundamentalpuncte bald nachdem ein Thermometer gefüllt und luftleer gemacht worden, oder einige Monate ſpäter beſtimmt, und es ſoll immer letzteres Statt finden, wenn man vermeiden will, daß der Eispunct mit der Zeit eine kleine Verrückung erleide und dem Siedpuncte näher rücke.

Man hat gefunden, daß Waſſer bei übrigens gleichen Umſtänden nur in allen metallenen Gefäßen bei demſelben Hitzegrade ſiede, in gläſernen oder thönernen Gefäßen aber dazu eine höhere Temperatur brauche, daß Schwefelblumen, die ins Waſſer geſchüttet werden, noch mehr aber ein dünner Ueberzug der Wände mit Gummilack die Siedhitze herabſetze, und daß überhaupt Waſſer in einem Gefäße, an welches es ſich nicht anhängt, leichter ſiede, als in einem ſolchen, woran es adhärirt (Marcet in Pogg. Ann. 56, 170 und 57, 218); deßhalb ſoll die Beſtimmung des Siedpunctes ſtets in einem Metallgefäße geſchehen. Jedoch haben ſelbſt in einem ſolchen Gefäße nicht alle Schichten des ſiedenden Waſſers einerlei Hitze, ſondern dieſe iſt an der oberſten Schichte am geringſten, und wächſt von oben nach unten ſo, daß in einem nur etwas tiefen Gefäße zwiſchen der Hitze der oberſten und unterſten Schichte ein ſehr bedeutender Unterſchied herrſcht. Der Dampf über dem Waſſer hat dieſelbe Temperatur, wie das ſiedende Waſſer ſelbſt. Es ſoll daher der Siedpunct nur in der oberſten Waſſerſchichte oder in der erſten Dampfſchichte beſtimmt werden. Es werden aber ſowohl der Waſſerdampf, als die oberſte ſiedende Waſſerſchichte deſto heißer, je größer der Luftdruck iſt. Die Folge wird lehren, daß man dieſen Druck durch den Stand des Barometers erkennt. Deßhalb ſoll man den Siedpunct entweder nur bei einem beſtimmten Barometerſtande, nämlich bei dem von 28 Pariſer Zoll beſtimmen, oder den bei einem andern Stande gefundenen auf jenen reduciren. So lange das Barometer über 26 Pariſer Zoll ſteht, findet man den Fundamentalabſtand für jede Pariſer Linie, um welche der Luftdruck kleiner als 28 Pariſer Zoll iſt, um 0,0007 zu klein, und für jede Linie über 28 Pariſer Zoll um eben ſo viel zu groß. -- Beim Füllen eines Thermometers wird nothwendig der Queckſilberbehälter einer hohen Temperatur ausgeſetzt und bedeutend erweitert. Der Erfahrung zu Folge erlangt er nicht gleich, nachdem er wieder erkaltet iſt, genau ſeine vorige Größe, und das Queckſilber ſteht darum verhältnißmäßig zu tief. Beim Luftleermachen wird derſelbe aber durch den äußeren Luftdruck zuſammengedrückt und dadurch wieder verengert. Meiſtens wird durch dieſe Verkleinerung die von der

ſtarken Erhitzung herrührende Vergrößerung compenſirt. Beſtimmt man daher den Eispunct eines Thermometers bald nachdem dieſes gefüllt und luftleer gemacht worden, ſo fällt er in der That auf ſeine gehörige Stelle; allein nach einiger Zeit (nach etwa vier Monaten) verliert ſich die von der Erhitzung herrührende Vergrößerung des Queckſilberbehälters, während die vom Luftdrucke herrührende Verkleinerung desſelben fortdauert, und ſo kommt es, daß nach dieſer Zeit der Eispunct dem Siedepuncte näher gerückt erſcheint. Wen man den Eispunct erſt wenigſtens vier Monate nach dem Füllen des Thermometers beſtimmt, ſo hat man eine ſolche Verrückung des Eispunctes nicht mehr zu befürchten; aber wenn das Inſtrument einer ſtarken Erhitzung (bis auf etwa 300°) ausgeſetzt wird, tritt eine ähnliche Vergrößerung des Queckſilberbehälters wie beim erſten Füllen neuerdings ein, verſchwindet aber wieder nach mehreren Monaten. (Siehe Gintl in Zeitſchr. n. F 5. 8 u. 117.)

28. **Weingeiſtthermometer** ſind den Queckſilberthermometern ganz ähnlich, werden auch auf gleiche Weiſe verfertigt, nur mit dem Unterſchiede, daß man als thermometriſche Flüſſigkeit ſtatt Queckſilber ſtarken (36—40gradigen) gefärbten Weingeiſt nimmt. Wiewohl dieſer für ſich im Freien ſchon unter 100° C. ſiedet, ſo kann man doch Weingeiſtthermometer verfertigen, welche ohne Gefahr des Zerſpringens die Hitze des ſiedenden Waſſers aushalten. Man braucht ſie nur ganz luftleer zu machen; die entſtehenden Weingeiſtdünſte hindern dann durch ihren Druck das Sieden des Weingeiſtes, und haben doch nicht Kraft genug, ein ſtarkes Glas zu zerreißen. Weingeiſt und Queckſilber dehnen ſich in der Wärme nach verſchiedenen Geſetzen aus; daher kann auch ein Weingeiſtthermometer nicht mit einem Queckſilberthermometer übereinſtimmen, und zwei ſolche müſſen beſonders mitten zwiſchen dem Eis- und Siedpuncte ſtark von einander abweichen. Sonſt iſt oberhalb des Eispunctes der Gang des Weingeiſtthermometers weniger regelmäßig, als jener eines Queckſilberthermometers; unter dem Eispuncte befolgt aber jenes einen eben ſo regelmäßigen, ja in der Nähe des Gefrierpunctes des Queckſilbers ſogar einen richtigeren Gang als dieſes. Man hat eigene Tabellen über den correſpondirenden Gang eines Queckſilber- und Weingeiſtthermometers. (Supplementband S. 932.)

Zur Angabe der höchſten und niedrigſten Temperatur, welche die Luft in einem Zimmer oder im Freien während einer gewiſſen Zeit hatte, dient Rutherford's Maximum- und Minimum-Thermometer (Fig. 3). Es beſteht aus zwei an derſelben Faſſung befeſtigten horizontal liegenden Thermometern a und b, deren eines Queckſilber, das andere Weingeiſt enthält. In der Röhre des Queckſilberthermometers befindet ſich ein kleiner Cylinder von Eiſen oder Stahl, der ſich ohne merkliche Reibung darin fortſchieben läßt. Dieſen treibt die Queckſilberſäule vor ſich hin, und läßt ihn an dem höchſten Puncte, den es erreicht, liegen, wodurch das Maximum der Temperatur angezeigt wird. In der Röhre des Weingeiſtthermometers hingegen iſt ein ſolcher Cylinder aus Glas oder Email angebracht, der im Weingeiſte ganz eingetaucht ſchwimmt. Zieht ſich der Weingeiſt zuſammen, ſo nimmt die Oberfläche desſelben dieſen Zeiger mit fort; ſo wie ſich aber die Weingeiſtſäule verlängert, geht die Flüſſigkeit an den Seiten des Cylinders vorbei, während dieſer an der tiefſten Stelle der Scale, wohin er kam, liegen bleibt, und ſo das Minimum der Temperatur anzeigt. Die beiden Thermometer haben

eine entgegengeſetzte Stellung, damit durch gehöriges Neigen ihrer Faſſung der Zeiger in jedem zur Oberfläche der Flüſſigkeitsſäule zurückgeführt werden könne, wenn eine neue Beobachtung beginnen ſoll. Die Größe dieſes Inſtrumentes eignet es nicht zu jedem Gebrauche, darum nimmt man zur Erforſchung der Temperaturszunahme in tiefen Bohrlöchern arteſiſcher Brunnen zu einer andern Einrichtung des Maximumthermometers, z. B. zu dem von Magnus angegebenen Geothermometer ſeine Zuflucht. Hievon, wie auch von Luftthermometern, Metallthermometern, Differenzialthermometern u. dgl., wird an den gehörigen Orten die Rede ſeyn. Ueber die Verfertigung der Thermometer ſiehe: Luz Anweiſung, Thermometer zu verfertigen. Nürnberg, 1834. Körner's Anleitung zur Verfertigung übereinſtimmender Thermometer. Jena, 1824. Rudberg in Pogg. Ann. 40, 39 u. 582.

29. Für große Hitzegrade, die mittelſt der Thermometer nicht mehr beſtimmt werden können, bedient man ſich ſogenannter Pyrometer. Dieſe ſind noch bei weitem nicht auf einen ſo hohen Grad der Vollkommenheit gebracht, wie die Thermometer, und keine der verſchiedenen Einrichtungen, die man den Pyrometern bis jetzt gegeben hat, erfreut ſich eines allgemeinen Gebrauches. Das Wedgewood'ſche Pyrometer, welches auf der Eigenſchaft des Thones beruht, ſich in der Hitze um ſo mehr zuſammenzuziehen, je ſtärker dieſe iſt, und dem man längere Zeit vieles Zutrauen ſchenkte, iſt in Folge neuerer Unterſuchung, nach welcher ſich Thon in einer mäßig lange anhaltenden Hitze ſchon ſo ſtark zuſammenzieht, wie in einer hohen nur kurz dauernden, für unzuverläßig erkannt worden, und wird jetzt kaum mehr beachtet. Man hat daher andere Mittel ergriffen. Guyton Morveau (Mémoires de l'Acad. 1808) mißt die Hitzegrade eines Körpers durch die Ausdehnung des Platins, Daniell (Edinb. philos. journ. Nr. 10. 397) durch den Unterſchied zwiſchen der Ausdehnung des Platins und des Graphits, Mill (Zeitſchr. 2. 75) und Pouillet (Eléments de Physique. 3. Edit. I. 231) durch die Ausdehnung der Luft in einem Platingefäße. Am annehmbarſten dürfte wohl Prinſep's Vorſchlag ſeyn, die Hitzegrade aus den Schmelzpuncten verſchiedener Metalle abzunehmen. Die Schmelzpuncte des Silbers, Goldes und Platins liegen ſo weit aus einander, daß ſie recht wohl die fixen Puncte der Scale abgeben können, und für die Zwiſchengrade dienen die Schmelzpuncte verſchiedener Legirungen aus dieſen Metallen. Zwiſchen dem Schmelzpuncte des reinen Silbers und dem des reinen Goldes werden 10 Grade angenommen, und die zu ihrer Beſtimmung paſſenden Legirungen dadurch erhalten, daß man dem Silber ſucceſſiv immer 10 Proc. Gold mehr zuſetzt. Zwiſchen den Schmelzpuncten des reinen Goldes und des Platins liegen 100 Grade, und man erhält die Legirungen, deren Schmelzhitze dieſen Graden entſpricht, indem man mit dem Golde ſucceſſiv 1 Proc. Platin mehr verbindet. Es iſt kein Zweifel, daß dadurch, zumal wenn man die Schmelzpuncte mit Hülfe des Luftpyrometers nach ſpäter zu erklärenden Grundſätzen ein für allemal auf Thermometergrade reducirt, in die pyrometriſchen Beſtimmungen Uebereinſtimmung gebracht wird, und da man von den Metalllegirungen nur

ſehr kleine Maſſen braucht (etwa von der Größe eines gemeinen Stecknadelkopfes), und jede derſelben ſehr oft benützt werden kann; ſo darf dieſes Verfahren mit Recht empfohlen werden.

Wedgewood's Pyrometer beſteht aus einer hinreichenden Anzahl kleiner Thoncylinder und einer Vorrichtung, ihre Dicke zu meſſen. Dieſe Vorrichtung (Fig. 4) wird von zwei convergirenden, etwa 12 Zoll langen Leiſten gebildet, die an einem Ende um 0,5 Zoll, am andern um 0,3 Zoll von einander abſtehen, und zwiſchen welche obige Cylinder deſto weiter hineingeſchoben werden können, je kleiner ſie ſind. Die Leiſten ſind der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt, welche die Pyrometergrade vorſtellen. Die Cylinder werden aus eigens gemiſchtem Thone von Cornwallis gemacht, zuerſt alle von gleicher Größe angetragen, und hierauf bei 100° C. getrocknet. Schon beim Trocknen ſchwinden ſie ungleich, ſo daß wohl einige bis zum Nullpuncte der Scale mit der vorderen Kante zwiſchen die Leiſten geſchoben werden können, andere aber weiter, andere minder weit reichen. Um alle brauchen zu können, notirt man auf jedem Stücke die Zahl, um welche es zu klein oder zu groß iſt, und zwar erſtere an der vorderen, letztere an der hinteren, abgeſtumpften Seite, damit man beim Gebrauche darauf die gehörige Rückſicht nehmen könne. Die ſo regulirten Stücke werden hart gebrannt, und reichen dann meiſtens bis zum fünften oder ſiebenten Grade. — Will man mit dieſem Inſtrumente eine hohe Temperatur beſtimmen, ſo ſetzt man einen ſolchen Thoncylinder derſelben aus, läßt ihn dieſe Temperatur annehmen, hierauf aber erkalten, wornach man ihn zwiſchen die Leiſten der Scala, ſo weit es angeht, einſchiebt, und den Grad ablieſt, der ſeiner Vorderfläche entſpricht, berückſichtigt aber dabei die am Cylinder notirte Correction. Schon einmal gebrauchte Stücke kann man noch fernerhin für höhere Temperaturen benützen. Nach Wedgewood entſpricht der Nullpunct der Scale einer Temperatur von 1077° F = 580° 1/2 C und jeder Grad 132° F = 73° 1/3 C. Nach Guyton Morveau ſtimmt aber der Nullpunct der W. Scale mit 517° F und jeder Grad mit 62° 1/2 F überein. (Beſchreibung und Gebrauch eines Thermometers, die hohen Hitzgrade zu meſſen ꝛc., von J. Wedgewood. Aus dem Engliſchen. London, 1786.)

30. Daß in allen materiellen Dingen Theile unterſchieden werden können, ergibt ſich ſchon aus ihrer Ausdehnung; die Erfahrung lehrt aber, daß dieſe Theile von einander abgeſondert werden können, und daß daher den Körpern die Eigenſchaft der Theilbarkeit zukomme. Zur Bewerkſtelligung der Theilung bedarf es eigener Kräfte. Meiſtens wird ſie durch Anwendung äußerer Gewalt, als: Schlagen, Stoßen, Schneiden, Hobeln, Raspeln, Feilen ꝛc., oder wie man zu ſagen pflegt, durch mechaniſche Mittel bewerkſtelliget. Die Theile, welche man auf ſolche Weiſe erhält, heißen Aggregattheile, weil ſie in dem Körper, von welchem ſie abgeſondert wurden, neben einander in Verbindung waren, und der Körper ſelbſt heißt ein Aggregat. Unterſcheiden ſich ſolche Theile von einander nur durch ihre Größe und Geſtalt, nicht durch materielle Beſchaffenheit, ſo heißen ſie gleichartige, homogene, ſind ſie aber materiell von einander verſchieden, ſo nennt man ſie ungleichartige, heterogene Beſtandtheile. Ein aus heterogenen Beſtandtheilen beſtehendes Aggregat heißt ein

Gemenge, die Theile ſelbſt aber werden Gemengtheile genannt. Ein zweites ſehr wirkſames Mittel, die Verbindung der Körpertheile aufzuheben, iſt die Wärme, deren Wirkſamkeit ſogar ſo weit geht, daß durch ſie die Körpertheile ein eigenes Beſtreben bekommen, ſich von einander zu entfernen und ſich verflüchtigen. Endlich gibt es noch ein drittes höchſt wirkſames Mittel, die Körpertheile von einander zu trennen, nämlich eine den Körpern eigenthümliche innere Kraft. Dieſe iſt z. B. wirkſam, wenn man ein Stück Kochſalz in Waſſer gibt. Da wird der Salzkörper immer kleiner, und wenn Waſſer genug vorhanden iſt, verſchwindet er endlich ganz. Dafür hat aber das Waſſer den Geſchmack des Salzes angenommen, jeder Tropfen deſſelben enthält Salz, und dieſes kann durch Abdampfen wieder daraus erhalten werden.

Nicht jedes dieſer Mittel erweiſet ſich gleich wirkſam, und in der Regel ſtehen die mechaniſchen den zwei anderen weit nach, ja es iſt nicht möglich, die Körper durch äußere Gewalt in ſo feine Theile zu zerlegen, als es die denſelben eigenen Kräfte vermögen. Die letzten Theile, über welche hinaus keine Kraft reicht, nennt man Atome. Durch Vermengung dieſer entſtehen Molecüle, und durch Aggregation dieſer werden erſt jene Körpertheile, Partikel, erlangt, zu welchen man durch mechaniſche Theilung gelangen kann. Aber ſelbſt dieſe ſind oft ſchon ſo klein, daß ſie ſelbſt der ſinnlichen Wahrnehmung entgehen. Insbeſondere iſt dieſes bei dehnbaren Metallen, bei leuchtenden Körpern rc. der Fall.

Aus einem Gran Gold ſchlagen die Goldarbeiter Blättchen von 36 Quadratzoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine ſilberne Stange von 22 Zoll Länge und 1¼ Linie Dicke mit einer Unze Goldes, und ziehen ſie dann zu einem Drahte aus, der 97 franzöſiſche Meilen lang iſt; wird er noch dazu platt gedrückt, ſo erlangt er gar eine Länge von 110 Meilen, und iſt doch allenthalben übergoldet, aber mit Blättchen, deren Dicke ſo gering iſt, daß nach Blacks Berechnung 14 Millionen erſt die Dicke eines Zolles geben, während eben ſo viele Blätter gemeinen Druckpapiers ¾ engliſche Meilen einnehmen. Platin läßt ſich durch ein eigenes, von Wollaſton angegebenes Verfahren zu Draht von $^1/_{30000}$ Zoll Dicke ausziehen. Silber läßt ſich zu Plättchen ausdehnen, wovon 8 Millionen auf einander gelegt erſt die Dicke von 1¼ Linie haben, und ein 1 Gran ſchweres Silberklümpchen läßt ſich zu einem 60 Fuß langen Draht ausziehen.

Ein kleines Stück Moſchus erfüllt ein ſehr großes Zimmer mit ſeinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß 1 Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchſinn zu afficiren vermag. Ein Gran Karmin färbt 20 Pfund Waſſer merklich roth, und jedes als roth bemerkbare Theilchen hat nur die Größe $^1/_{30000000}$ Zoll. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchſtaben an eine Wand ſchreiben, ohne ihn merklich abzureiben.

31. Die Aggregattheile der Körper ſind auf verſchiedene Weiſe mit einander verbunden, d. h. es gibt verſchiedene Aggregationszuſtände. Im Allgemeinen müſſen zwei derſelben unterſchieden

werden. In dem einen heißen die Körper feſt (ſtarr), im andern flüſſig. Die Theile eines feſten Körpers ſind ſo mit einander verbunden, daß ſie nur durch Anwendung einer der Größe nach beſtimmbaren Kraft in ihrer Stellung verändert, d. h. verſchoben werden können. Solche Körper haben darum eine ſelbſtſtändige Geſtalt und dieſe iſt, wenn ſie ſich frei hat ausbilden können, bei Körpern unorganiſcher Natur meiſtens von ebenen Flächen eingeſchloſſen. Man nennt ſolche Formen Kryſtalle und ſagt ein Körper ſey kryſtalliſirt. Die Theile flüſſiger Körper laſſen ſich mit der größten Leichtigkeit verſchieben, ſo daß man ſie bei theoretiſchen Unterſuchungen als abſolut leicht, d. h. durch die kleinſte denkbare Kraft ſchon verſchiebbar annimmt; die wirklichen Körper entfernen ſich aber von dieſem idealen Zuſtande mehr oder weniger. Man unterſcheidet zwei flüſſige Zuſtände, nämlich den tropfbaren und den ausdehnſamen. Tropfbar flüſſige Körper laſſen ſich ſo ſchwer zuſammendrücken, daß man ſie in den meiſten Fällen für unzuſammendrückbar halten kann; ausdehnſam flüſſige hingegen laſſen ſich durch jede beliebige Kraft zuſammendrücken und ihre Theile zeigen ein beſtändiges Beſtreben, ſich von einander zu entfernen, welches Beſtreben man Ausdehnſamkeit nennt. Tropfbare Flüſſigkeiten erſcheinen in kleinen Maſſen in Kugelgeſtalt als Tropfen, nehmen aber in größeren Maſſen die Form der Gefäße an, worin ſie ſich befinden, und vertragen eine freie Oberfläche; ausdehnſame hingegen haben gar keine ſelbſtſtändige Geſtalt und laſſen ſich nur in ringsum geſchloſſenen Gefäßen aufbewahren. Man pflegt die ausdehnſamen Körper in Gaſe und in Dünſte einzutheilen. Erſtere ſollen bei jedem Drucke und bei jedem Kältegrade ausdehnſam bleiben, wie z. B. die atmoſphäriſche Luft, während letztere durch Zuſammendrücken und Erkalten in den tropfbaren Zuſtand übergehen, wie z. B. der Waſſerdampf. In der neueren Zeit hat man aber die meiſten Körper, die man ſonſt für Gaſe hielt, tropfbar dargeſtellt, und es wahrſcheinlich gemacht, daß der Unterſchied zwiſchen Gaſen und Dünſten nicht weſentlich ſey. Weil es aber das Auffaſſen der Erſcheinungen erleichtert, wenn man die Stoffe, welche in der Regel im ausdehnſamen Zuſtande vorkommen, von jenen, die bald ausdehnſam bald tropfbar erſcheinen, auch durch die Bezeichnung unterſcheidet; ſo wollen wir diejenigen Gaſe nennen, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und beim natürlichen Luftdruck ſtets ausdehnſam ſind, und mit dem Worte Dunſt diejenigen bezeichnen, welche ihre Ausdehnſamkeit nicht unter allen dieſen Umſtänden behaupten. Die Folge wird noch einen Unterſchied zwiſchen Dunſt und Dampf kennen lehren. Der Aggregationszuſtand der Körper wird durch die Wärme geändert und es kann mancher Körper bloß durch Erwärmung von dem feſten Zuſtande in den tropfbaren und von dieſem in den ausdehnſamen übergeführt werden, während durch Erkaltung gerade die entgegengeſetzten Veränderungen erfolgen.

32. Die Aggregattheile der Körper befinden ſich in Abſtänden von einander, die manchmal ſogar deutlich wahrgenommen werden,

oder ſich durch mannigfaltige Erſcheinungen verrathen. Man ſagt dann, ein Körper beſitze Zwiſchenräume oder Poren. Meiſtens dehnt man dieſes auf alle Körper aus, und ſieht die Poroſität als eine allgemeine Eigenſchaft der Körper an, wiewohl es Körper gibt, bei denen gar kein anderer Grund für das Daſeyn von Poren vorliegt, als die Zuſammendrückbarkeit der Materie im Allgemeinen, die man ohne Zwiſchenraum mit der Undurchdringlichkeit nicht für vereinbarlich hält.

An vielen Körpern erkennt man die Zwiſchenräume ſchon mit freiem Auge, wie z. B. beim Korkholz, bei anderen Holzarten ſchließt man auf ihr Daſeyn daraus, daß man mittelſt der Hand oder einer Preſſe Queckſilber durchpreſſen kann; aus Eiern, Nußſchalen, ſelbſt aus dem ſogenannten Hydrophan (einem poröſen Steine) ſteigen Luftblaſen auf, wenn man ſie ins Waſſer legt, zum Beweiſe, daß die in den Zwiſchenräumen enthaltene Luft durch das Waſſer vertrieben wird, mithin zum Beweiſe des Daſeyns der Zwiſchenräume ſelbſt. Marmor läßt eine mit Firniß abgeriebene Farbe auf eine ziemliche Tiefe eindringen; tropfbar flüſſige Körper, z. B. Waſſer, Weingeiſt, ſaugen luftförmige Stoffe ein und beurkunden dadurch ihre Poroſität. Wie groß die Anzahl der Zwiſchenräume in den Häuten der Thiere ſey (wenn es überhaupt erlaubt iſt, die feinen Gefäßenden an der Oberhaut Poren zu nennen), kann man aus dem Austreten des Schweißes, der Wirkſamkeit der Salben und Räucherungen ſchließen.

33. Eine ſehr wichtige allgemeine Eigenſchaft der Körper iſt die Schwere derſelben. Sie beſteht in dem Beſtreben der Körper zur Erde zu fallen und äußert ſich ohne Ausnahme an allem Materiellen auf der Erde durch deſſen wirklichen Fall, oder wenn dieſem ein Hinderniß entgegen ſteht, durch einen Druck auf das Hinderniß. Dem Rauche, den Wolken u. dgl. kann man eben ſo wenig die Schwere abſprechen, weil ſie in der Luft aufwärts ſteigen, als man ſie einem Stücke Korkholz abſpricht, weil es ſich im Waſſer erhebt. Daß die Schwere den Körpern nicht als Ganzen, ſondern allen ihren Theilen zukomme, lehrt der Umſtand, daß man bei der Theilung derſelben in die kleinſten Stücke jedes ſchwer findet. Die Richtung der Schwere erkennt man aus der eines frei fallenden Körpers oder eines biegſamen, von einem frei daran hängenden Gewichte geſpannten Fadens. Sie heißt verticale Richtung; die darauf Senkrechte nennt man horizontal. Der Erfahrung gemäß ſind die verticalen Richtungen in nicht weit von einander entfernten Orten parallel; in weit von einander entfernten convergiren ſie gegen die Erde zu. Dahin zielen demnach die Körper vermöge ihrer Schwere. An demſelben Orte oder in nicht weit von einander entfernten Orten fallen, in einem nicht widerſtehenden Mittel, alle Körper gleich ſchnell (wie mehrere in der Folge vorkommende Erfahrungen zeigen werden), es ſind daher alle gleich ſchwer. Die Schwere eines Körpers ändert ſich nicht mit der Zeit, wohl aber von Ort zu Ort, ſie iſt näher gegen den Aequator der Erde kleiner, näher gegen die Pole größer; in derſelben Verticallinie iſt ſie um ſo kleiner, je weiter die betreffende Stelle von dem Erdmittelpunkte entfernt iſt.

34. Der Druck, den ein Körper auf ſeine horizontale Unterlage vermög ſeiner Schwere ausübt, heißt ſein Gewicht. In ſofern man alle Theile eines Körpers als gleich ſchwer betrachten darf, kann man dem in 22 Geſagten gemäß das Gewicht P deſſelben ſeiner Maſſe M und der Geſchwindigkeit g, welche die Schwere an dem Orte, wo er ſich befindet, während der Zeit 1 erzeugt, proportionirt ſetzen, ſo daß

$$P = gM \ldots (1)$$

iſt. Für $M = 1$ iſt $P = g$, mithin g zugleich das Gewicht der Maſſe 1; für $P = 1$ iſt $M = \frac{1}{g}$ d h. die Maſſe, welche dem Gewichte $= 1$ entſpricht, hat den numeriſchen Werth $= \frac{1}{g}$. Da an demſelben Orte g conſtant iſt, ſo verhalten ſich die Gewichte zweier Körper wie ihre Maſſen, und ſomit dienen die Gewichte zur Vergleichung der Maſſen. Darum hält ſich auch Jedermann für überzeugt, daß ein Körper, deſſen Gewicht das doppelte oder dreifache eines andern beträgt, auch 2mal oder 3mal mehr Maſſe enthalte als jener. Doch darf man nicht vergeſſen, daß dieſes nur für gleiche Werthe von g gilt. Man kann, da es ſich hierbei um bloße Verhältniſſe handelt, ſogar von der Gewichtseinheit, welche obiger Formel zum Grunde liegt, abgehen, und wie es im gemeinen Leben geſchieht, ein beliebiges Gewicht als Einheit annehmen, und mittelſt Abwägen finden, wie vielmal dieſe Einheit in dem zu unterſuchenden Gewichte enthalten iſt.

Durch Mittel, die jedoch erſt in der Folge erklärt werden können, hat man gefunden, daß in Wien ein im leeren Raume freifallender Körper am Ende der erſten Secunde ſeiner Bewegung eine Geſchwindigkeit von 31,03 Wiener Fuß erhält, d. h. daß er ohne Mitwirkung der Schwere lediglich wegen ſeiner Trägheit in der nächſten Secunde 31 03 F. durchlaufen würde. Es iſt alſo für Wien, wenn der Fuß als Längeneinheit und die Secunde als Zeiteinheit gewählt wird, $g = 31{,}03$ und die Maſſe der Gewichtseinheit $= 0{,}03222$.

In Frankreich hat man das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Waſſers bei einer Temperatur von 2°,7 R. als Einheit angenommen und Gramme genannt. Ein Zehntel, Hundertel, Tauſendtel davon heißt Decigramme, Centigramme, Milligramme; das Zehnfache, Hundertfache, Tauſendfache deſſelben Dekagramme, Hektogramme, Kilogramme. Gewöhnlich nimmt man einen Zentner, ein Pfund, ein Loth ꝛc. als Einheit des Gewichtes an; in jedem Lande iſt die Größe einer ſolchen Einheit beſtimmt. Ein Wiener Pfund (32 Loth, jedes zu 240 Gran) hält 560012 Milligramme, mithin ein Gramme 13,714 Gran und ein Kilogramm 1 Pfund 25 Loth 33,9917 Gran des Wiener Gewichtes.

Ein Pariſer Pfund hält . .	489506	Milligramme.
» engliſches Troy-Pfd. hält	373243	»
» preußiſches Pfd. hält .	467711	»
» baieriſches » » .	560000	»
» würtembergiſches Pfd. hält	467728	»
» heſſiſches » »	500000	»
» ſchwediſches » »	425010	»
» däniſches » »	499260	»
» ruſſiſches » »	408994	»

35. Vergleicht man die Gewichte zweier gleichartigen Körper von verſchiedenem Volum bei gleicher Temperatur, ſo findet man, daß ſie im geraden Verhältniſſe mit den Rauminhalten ſtehen, und man kann daher dasſelbe auch von ihren Maſſen ſagen. Dieſes iſt aber in der Regel bei ungleichartigen Körpern nicht der Fall. Man nennt denjenigen, der unter demſelben Volum mehr Gewicht hat, als ein anderer, dichter, und zwar in demſelben Verhältniſſe, als er mehr Gewicht beſitzt, und ſtellt ſich vor, ſeine materiellen Theile ſtehen im Raume gedrängter an einander. Man ſagt von einem Körper, er ſey gleichförmig dicht, wenn gleiche Raumtheile desſelben gleich viel Maſſe enthalten; findet das Gegentheil Statt, ſo heißt er ungleichförmig dicht. Stellt man ſich die Materie eines ungleichförmig dichten Körpers in ſeinem Volum gleichförmig vertheilt vor, ſo iſt die daraus hervorgehende Dichte die mittlere Dichte des Körpers; dieſe meint man, wenn man von der Dichte im Allgemeinen ſpricht. Um die Dichten der Körper bequem durch Zahlen ausdrücken zu können, nimmt man die größte Dichte, welche reines Waſſer haben kann, nämlich die bei 3° R. zur Einheit an, und gibt der Dichte jedes andern Körpers den Zahlenwerth, welcher anzeigt, wie oft ſeine Maſſe die des Waſſers unter demſelben Volum in ſich enthält. So drückt man z. B. die Dichte des Goldes durch 19 aus, weil ein Volum desſelben 19mal mehr Maſſe hat, als ein gleich großes Volum Waſſer. Da man aber auch die Maſſe eines Waſſerkörpers vom Volum = 1 bei 3° R. als Einheit der Maſſe annimmt: ſo wird die Maſſe und Dichte eines Körpers durch denſelben Zahlenwerth ausgedrückt. Heißt demnach M die Maſſe, V das Volum, D die Dichte eines Körpers, ſo iſt

$$M = VD \quad . \; . \; . \; (2).$$

Hierdurch verwandelt ſich die oben (34) gegebene Formel (1) in

$$P = g\,VD \quad . \; . \; . \; (3).$$

Das Gewicht eines Körpers ohne Rückſicht auf ſeinen Rauminhalt nennt man ſein abſolutes, das unter dem Volum = 1 hingegen das eigenthümliche oder ſpecifiſche Gewicht desſelben. Setzt man daher in (3) V = 1, ſo erhält man gD als Ausdruck für das ſpecifiſche Gewicht. Bezeichnet man dieſes mit S, ſo hat man

$$P = VS, \text{ woraus } S = \frac{P}{V} \text{ und } V = \frac{P}{S} \; . \; . \; . \; (4) \text{ folgt.}$$

Die Formel gilt offenbar für jede beliebige Einheit der Gewichte. Haben für einen zweiten Körper d und s dieſelbe Bedeutung, wie für den erſten D und S, ſo wird für einerlei Werth von g,

$$S : s = D : d,$$

oder es verhalten ſich die ſpecifiſchen Gewichte wie die Dichten. Iſt s das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers, mithin d = 1, ſo folgt aus dieſer Proportion für das ſpecifiſche Gewicht jedes andern Körpers die Formel

$$S = Ds \; . \; . \; . \; . \; (5) \text{ und ihr gemäß aus (4) } P = VDs \; . \; . \; . \; (6).$$

Dieſe letztere Gleichung gibt $D = \frac{P}{Vs}$, und weil nach (4) Vs das

Gewicht des Waſſers unter dem Volum V, d. i. unter dem Volum des Körpers ausdrückt, ſo iſt, wenn wir Vs = p ſetzen

$$D = \frac{P}{p} \;.\;.\;.\;. \;(7).$$

Da man der Formel (5) zu Folge das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers aus ſeiner Dichte durch Multiplication mit einem fixen Factor erhält, ſo erlaubt man ſich oft das ſpecifiſche Gewicht mit der Dichte zu verwechſeln.

36. Um das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers zu finden, kann man ein Gefäß von genau bekanntem Inhalte v mit Waſſer füllen und beſtimmen, wie viel es davon dem Gewichte nach faßt. Iſt dieſes Gewicht = p, ſo hat man nach (4) $s = \frac{p}{v}$. So zeigt ſich das Gewicht eines Wiener Kubikzolles reinen Waſſers bei 3° R. = 250,56 Wiener Gran.

Das Gewicht eines Wiener Kubikfußes reinen Waſſers bei 3° R. beträgt 432977,22 Wiener Gran. Die Einheit der Gewichte, welche der Formel (1) in 34 für g = 31,03 Wiener Fuß zum Grunde liegt, enthält daher 13953,5 W. Gran oder 1 Pfd. 26 Lth. 33,5 Gr.

37. Will man die Dichte eines tropfbar flüſſigen Körpers mit jener des Waſſers vergleichen, ſo fülle man ein Fläſchchen (Fig. 5.) mit genau paſſendem Stöpſel, ohne einen Raum leer zu laſſen (zu welchem Behufe der Stöpſel einen feinen Kanal zum Austreten der Flüſſigkeit haben kann), ſorgfältig einmal mit Waſſer, das andere Mal mit der Flüſſigkeit, und beſtimme jedes Mal das Gewicht des Inhaltes. Die Dichte der Flüſſigkeit iſt nach (36,7) der Quotient der Diviſion des letzteren Gewichtes durch erſteres, das man ein für alle Mal am Fläſchchen notiren kann. Zur Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes eines feſten Körpers, der ſich im Waſſer nicht auflöſt, ſuche man das Gewicht des Körpers und das Gewicht des Waſſers, welches der Körper aus dem Fläſchchen heraustreibt. Letzteres Gewicht erhält man, wenn man von der Summe der Gewichte des Körpers und des mit Waſſer gefüllten Fläſchchens das Gewicht des Fläſchchens, nachdem der Körper in ſelbes gebracht und der übrige Raum mit Waſſer ausgefüllt worden iſt, ſubtrahirt. Das Gewicht des vom Körper verdrängten Waſſers iſt jenem gleich, welches in der Formel (7) mit p bezeichnet wurde; die Dichte des Körpers iſt daher der Quotient aus der Diviſion ſeines Gewichtes durch das Gewicht dieſes Waſſers. Sollte der Körper im Waſſer löslich ſeyn, ſo gebrauche man ſtatt des Waſſers eine andere Flüſſigkeit von bekannter Dichte d, worin er ſich nicht löſet. Iſt P das Gewicht des Körpers, deſſen Dichte D verlangt wird, p das Gewicht der von ihm verdrängten Flüſſigkeit, ſo iſt offenbar D : d = P : p, mithin $D = \frac{P}{p}.d.$ Die Beſtimmung der Dichte ausdehnſamer Flüſſigkeiten wird nebſt andern Methoden zur Ausmittelung der Dichte feſter und tropfbarer

Körper ſpäter gelehrt werden. Genaue Reſultate erfordern gehörige Rückſicht auf Temperatur.

38 Keine der angeführten allgemeinen Eigenſchaften der Materie läßt ſich aus einem ſinnlich wahrnehmbaren Grunde ableiten, und man muß, wenn überhaupt eine Erklärung derſelben für nöthig und zuläſſig erkannt wird, zu überſinnlichen Gründen, zu Kräften die Zuflucht nehmen. Solche Kräfte ſind aber dann auch als allgemeine Naturkräfte zu betrachten.

Schon an und für ſich iſt klar, daß bewegende Kräfte die Puncte, worauf ſie wirken, entweder zur gegenſeitigen Annäherung oder Entfernung beſtimmen und daß demnach dieſe Kräfte im Allgemeinen entweder anziehende oder abſtoßende ſeyn müſſen. Eine nähere Betrachtung der allgemeinen Naturphänomene beſtimmt dieſe Kräfte näher.

39. Zur Annahme einer ſehr auffallend wirkenden anziehenden Kraft wird man durch die Phänomene der Schwere beſtimmt. Man nennt ſie Schwerkraft. Sie iſt den materiellen Theilchen eigen, und findet wechſelſeitig zwiſchen den Körpern auf der Erde und dem Erdkörper ſelbſt Statt; ja ſie iſt nicht einmal auf irdiſche Körper beſchränkt, ſondern wirket zwiſchen je zwei materiellen Theilen in der ganzen Natur. In dieſer Beziehung heißt ſie allgemeine Schwerkraft oder Gravitation. Sie iſt von der materiellen Beſchaffenheit der Körper unabhängig, und richtet ſich bloß nach der Quantität der ſich anziehenden Maſſen und ihrer gegenſeitigen Entfernung, indem ſie im geraden Verhältniſſe mit dieſen Maſſen, und im verkehrten der Quadrate der Entfernungen wächſt.

40. Durch die Erſcheinungen der Ausdehnbarkeit und Zuſammendrückbarkeit, der Poroſität, ſo wie jener der verſchiedenen Aggregationszuſtände werden wir zur Annahme anderer Naturkräfte beſtimmet, die theils abſtoßend, theils anziehend wirken und Molecularkräfte heißen. Der Widerſtand, welchen man bei der Trennung der kleinſten Theile feſter Körper zu überwinden hat, und der ſich ſelbſt bei tropfbaren durch die Tropfenbildung und die dem Zerreißen eines Tropfens ſtets vorangehende Dehnung eines ſolchen kund gibt, nöthiget zur Annahme einer anziehenden Kraft zwiſchen den kleinſten Körpertheilchen, während der Widerſtand, der bemerkt wird, wenn man einen Körper von was immer für einer Aggregationsform zuſammenzudrücken ſucht, auf eine abſtoßende Kraft hindeutet. Beide Kräfte wachſen, wenn die Körpertheile, in denen ſie ihren Sitz haben, einander genähert werden. Das Geſetz, nach welchem dieſe Zunahme der Kräfte erfolgt, iſt zwar nicht bekannt, doch höchſt wahrſcheinlich, daß es für die anziehende Kraft ein anderes ſey, als für die abſtoßende, und ganz gewiß, daß erſtere mit wachſenden Abſtänden raſch abnehme, und ſchon bei kaum merklichen Entfernungen als verſchwindend klein angeſehen werden könne Dieſe Kräfte hängen überdieß von der Natur der Materie ab, in der ſie ihren Sitz haben, und unterſcheiden ſich ſomit weſentlich von der allgemeinen Anziehung; es hat bald

die anziehende bald die abſtoßende das Uebergewicht, und ein ſcheinbares Gleichgewicht zwiſchen beiden wird oft erſt durch einen die anziehende Kraft unterſtützenden äußeren Druck hergeſtellt. Die den abſtoßenden Theil der Molecularkraft überwiegende Anziehung nennt man *Cohärenzkraft*, weil man ſich ſelbe als letzten Grund des Zuſammenhanges der Körpertheile denkt.

41. Man kann nicht umhin, den anziehenden Theil der Molecularkräfte als der Materie eigenthümlich anzunehmen, der abſtoßend wirkende aber ſteht mit dem Wärmezuſtande der Körper in ſo inniger Verbindung, daß es höchſt wahrſcheinlich wird, er gehöre nicht ſo ſehr der Materie ſelbſt, als dem in den Körpern enthaltenen Wärmeprincipe an. Dieſes geht daraus hervor, daß mit der Zu- und Abnahme der Wärme in einem Körper auch die abſtoßende Kraft zwiſchen ſeinen kleinſten Theilchen wächſt und abnimmt, daß die Wärme in einem Körper als ſolche, d. h. wärmend, nur in dem Maße auftritt, als weniger abſtoßende Kraft zwiſchen den Körpertheilchen erfordert wird, ferner daß ſie für das Gefühl ganz verſchwindet, wenn eine Aenderung des Aggregationszuſtandes einen plötzlichen größeren Aufwand an abſtoßender Kraft nöthig macht. Alles dieſes wird aus nachſtehenden Betrachtungen klar werden.

42. Der Zuſtand eines Körpers, in welchem er in uns die Empfindung von Wärme und Kälte erzeugt, muß einen Grund haben. Man nimmt gewöhnlich an, es werde derſelbe durch ein Agens hervorgebracht, das von einem Körper in andere übergehen, ſich deren Maſſe mittheilen kann und nach Gleichgewicht ſtrebt. Die Empfindung der Wärme bringt es dadurch hervor, daß es in uns übergeht, die Kälte hingegen dadurch, daß es uns verläßt. Wir haben für den objectiven Grund dieſer Empfindung kein anderes Wort als für die Empfindung ſelbſt und nennen beide *Wärme*. Was nun immer die Natur derſelben ſeyn mag, ſo iſt doch ſo viel gewiß, daß ihre Quantität mit der Größe der durch ſie hervorgebrachten Wirkungen in Verbindung ſtehen müſſe, und daß man die Größe dieſer Wirkungen der Quantität der wirkenden Urſache, der Wärmemenge ſelbſt, proportional ſetzen könne. Als Wirkungen der Wärme kennen wir die eigenthümliche Empfindung, ferner die Vergrößerung des Volumes und die Aenderung der Aggregationszuſtände. Von dieſen ſind nur die letzteren einer nummeriſchen Meſſung fähig und dieſe werden demnach zur Beſtimmung der Wärmemengen angewendet. Was wir demnach Wärmemenge nennen iſt nichts anderes, als die Urſache, wodurch eine gewiſſe Volumenvergrößerung eines Körpers hervorgebracht oder noch beſtimmter, wodurch eine gewiſſe Menge Eis geſchmolzen wird. Als Einheit der Wärmemenge kann man jenes Wärmequantum annehmen, wodurch eine Gewichts- oder Volumen-Einheit eines beſtimmten Körpers um eine beſtimmte Anzahl Wärmegrade erwärmet oder eine beſtimmte Menge Eis von 0° C. geſchmolzen werden kann. Setzt man z. B. diejenige Wärmemenge = 1, durch welche 1 Pfd. Waſſer von 0° C auf 1° C. erwärmt wird, ſo ſind die Wärmemengen 2, 3, n

diejenigen, welche 2, 3, n Maſſeneinheiten Waſſer von 0° C. auf 1° erwärmen können. Die Erfahrung lehrt, daß die in einem Körper enthaltene Wärmemenge nicht blos von ſeiner Maſſe und Temperatur, ſondern auch von ſeiner materiellen Natur abhänge, ganz im Einklange mit den Molecularkräften, die auch als von der materiellen Beſchaffenheit der Körper abhängig erkannt werden. Daraus folgt dann, daß man zur Erwärmung eines Körpers um 1° C. eine von ſeiner Natur abhängige Wärmemenge benöthige. Man nennt die Wärmemenge, welche die Temperatur der Maſſeneinheit eines Stoffes um 1° C. erhöht, deſſen ſpezifiſche Wärme (die zur gleichen Temperaturſteigerung einer Volumeneinheit nöthige Wärmemenge wird relative Wärme genannt), und ſchreibt ihm eine in demſelben Maße größere oder kleinere Wärme-Capacität zu, als er mehr oder weniger ſpezifiſche Wärme hat. Um die ſpezifiſche Wärme oder die Wärme-Capacität der Körper durch Zahlen ausdrücken zu können, nimmt man die ſpezifiſche Wärme oder Capacität des Waſſers = 1 an. Die Wärme-Capacität ſteigt mit der Temperatur der Körper, und es braucht demnach ein ſolcher mehr Wärme, wenn er bei 20° als wenn er bei 0° noch um einen Grad erwärmt werden ſoll. Bei hoher Temperatur ſind die Theile eines Körpers weiter von einander entfernt als bei geringerer, und es gehört in der That ein größeres Quantum abſtoßender Kraft dazu, um dieſelben in größerer als um ſie in kleinerer Entfernung von einander zu erhalten, ſo daß hieraus nicht ſchwer zu erkennen iſt, wie die Wärme die abſtoßende Kraft abgibt.

43 Wird ein feſter Körper, z. B. Eis, bis zum Schmelzen erwärmt, ſo ſteigt von dem Augenblicke an, wo das Schmelzen beginnt, ſeine Temperatur nicht mehr, ſo viel auch Wärme zuſtrömen mag, ſondern es wird alle zufließende Wärme zum Schmelzen verwendet, und erſt, wenn die ganze Maſſe geſchmolzen iſt, beginnt wieder ein dem Wärmezufluſſe angemeſſenes Steigen der Temperatur des beſagten Körpers. Man ſagt darum, beim Schmelzen der Körper werde Wärme gebunden und nennt die ſo für das Gefühl verſchwundene Wärme gebundene. Das Umgekehrte erfolgt, wenn man einen tropfbaren Körper bis zum Erſtarren abkühlt. Da mag man ihn in eine Umgebung von was immer für einer niederen Temperatur bringen, ſo ſinkt doch, von dem Augenblicke an, wo er zu erſtarren beginnt, ſeine Temperatur nicht mehr unter den Punkt, wo das Erſtarren anfing, und erſt, wenn die ganze Maſſe feſt geworden iſt, tritt ein Sinken ihrer Temperatur ein. Hier wird alſo die beim Schmelzen gebundene Wärme wieder frei. Auf ganz ähnliche Weiſe wird die Wärme beim Uebergange eines tropfbaren Zuſtandes in den ausdehnſamen, und umgekehrt modificirt. Wird z. B. Waſſer bis zur Siedhitze, d. h. bis 100° C. erhitzt, ſo beginnt es zu ſieden, d. h. ſich in Dampf zu verwandeln, aber ſeine Temperatur ſteigt nicht über 100° C., ſo lange noch etwas tropfbare Maſſe vorhanden iſt, weil alle Wärme zum Behufe der Dampfbildung verwendet wird. Erkaltet nun der Waſſerdampf von 100° C. Wärme, z. B. durch eine kalte Umgebung, ſo

entſteht daraus wohl tropfbares Waſſer, allein dieſes hat die Temperatur von 100° C. bis aller Dampf tropfbar geworden iſt. Die Wärme hört demnach auch als ſolche auf, das Gefühl und das Thermometer zu afficiren, ſobald ſie als abſtoßende Kraft zu wirken beginnt, und fängt wieder an auf das Gefühl und das Thermometer zu wirken, ſobald ſie dieſer Function enthoben iſt. Alles dieſes zuſammengenommen dürfte wohl die Anſicht rechtfertigen, daß man die abſtoßende Molecularkraft der Wärme zuſchreiben könne.

44. Die hier beſprochenen Molecularkräfte erſtrecken ſich nur auf gleichartige Theile eines Körpers. Es gibt aber auch Phänomene, welche das Daſeyn einer der anziehenden Molecularkraft ähnlich wirkenden Anziehung zwiſchen heterogenen Körpern beurkunden. Von der Art iſt das Aneinanderhaften heterogener Körper oder die ſogenannte Adhäſion. Man nennt die ſo wirkende Molecularanziehung Adhäſionskraft. Die Adhäſion tritt bei der Berührung, ſowohl feſter Körper mit tropfbaren oder ausdehnſamen Flüſſigkeiten, als auch flüſſiger Körper jeder Art unter einander ein. Läßt man z. B. einen Waſſertropfen auf eine reine Glas- oder Salzplatte fallen, ſo ſieht man ihn auseinander fließen und die ihm eigenthümliche Kugelform verlieren; auf einer fetten Platte zeigt er ſich aber, wenn er nicht zu groß iſt, in ſeiner Kugelgeſtalt. Wie ein Waſſertropfen auf einer reinen Glas- oder auf einer Salzplatte, ſo verhält ſich ein Queckſilbertropfen auf einer Zinntafel, während ſein Verhalten auf Glas dem des Waſſers auf einer Fettſchichte gleicht. Das einfache Phänomen des Naßwerdens eines Körpers in verſchiedenen Flüſſigkeiten bezeuget eben ſo, wie die vorigen Fälle, das Daſeyn einer Anziehung zwiſchen ihm und den betreffenden Flüſſigkeiten. Bringt man eine Scheibe aus irgend einem Stoffe mit der Oberfläche einer ruhenden Flüſſigkeit, durch welche ſie nicht benetzt wird, in Berührung, und verſucht ſie dann wieder aufzuheben, ſo erfährt man einen Widerſtand. So wie man die Scheibe hebt, zieht man mit ihr zugleich eine Säule Flüſſigkeit in die Höhe, und in einer beſtimmten Höhe reißt ſich dieſe los, ohne an der Scheibe eine Spur zurückzulaſſen. Das zum Losreißen nöthige Gewicht, vermindert um jenes der Scheibe, gibt die Größe der Anziehung, welche zwiſchen ihr und der Flüſſigkeit herrſcht. Wird aber die Scheibe von der Flüſſigkeit benetzt, ſo bleibt nach dem Losreißen ein Theil der letzteren an der Scheibe hängen, zum Beweiſe, daß die Adhäſion zwiſchen den ſich berührenden Körpern größer ſey, als der Zuſammenhang der flüſſigen Theile unter ſich. Daß auch zwiſchen tropfbaren Körpern Adhäſion Statt findet, beweiſen mehrere Erſcheinungen: Ein Tropfen fettes Oehl breitet ſich auf einer Waſſerfläche ſchnell aus, ja wenn man während des vorher erwähnten Verſuches, wo man eine dem Waſſer adhärirende, von demſelben benetzte Scheibe vom Waſſer losreißen will und dieſes noch nicht bewerkſtelliget hat, einen Tropfen Oehl auf die freie Waſſerfläche gibt, ſo reißt jene Scheibe alſogleich los, zum Beweiſe, daß ſich die Oehlſchichte ſogar zwiſchen die Platte und das Waſſer hineingezogen habe. Eine auf Waſ-

ſer befindliche fette Oehlſchichte wird durch flüchtiges Oehl, eine ſolche aus letzterem durch Weingeiſt verdrängt, welches beweiſet, daß fette und ätheriſche Oehle dem Waſſer adhäriren, daß der Weingeiſt mehr als ätheriſches Oehl, dieſes mehr als fettes Oehl am Waſſer hafte. Die Adhäſion ausdehnſamer Körper an andere beweiſen mehrere Erſcheinungen: Luft haftet ſo hartnäckig an Glas, daß es nur durch Hitze davon los gemacht werden kann, wie man dieſes ſieht, wenn man Queckſilber in einer Glasröhre zum Kochen bringt, wo ſich die Luftblaſen erſt kurz vor dem Kochen des Queckſilbers zu entfernen anfangen. Ohne Zweifel iſt ein ſolcher ausdehnſamer Körper an den Wänden eines feſten durch die Adhäſionskraft verdichtet und bildet daſelbſt eine eigene Atmoſphäre.

Man benutzt die Adhäſion zwiſchen feſten und tropfbaren Körpern zu den mannigfaltigſten Zwecken und bei vielen techniſchen Arbeiten, z. B. beim Leimen, Kitten, Schreiben, Anſtreichen, Malen, Zeichnen, Lithographiren; auch Vera's Seilmaſchine zum Waſſerheben beruht darauf. Dieſe beſteht aus einem oder mehreren Stricken ohne Ende, die um zwei über einander befindliche Wellen gehen. Die untere Welle befindet ſich in dem Waſſerbehälter, die obere an der Stelle, wohin das Waſſer gehoben werden ſoll. Letztere läßt ſich mittelſt einer Kurbel um ihre Axe drehen und nimmt bei der Bewegung die Stricke mit ſich fort. Wird ſchnell genug gedreht, ſo erſcheint der ganze aufſteigende Arm der Stricke mit Waſſer umgeben, welches beim Wenden desſelben in einem eigenen Behälter geſammelt werden kann Aus der hier beſprochenen Anziehung erklärt ſich auch das Herabfließen der Flüſſigkeiten an der äußeren Wand der Gefäße, worin ſie enthalten ſind, wenn man ſie langſam ausgießen will, und der Nutzen der Ausgußſchnäbel und der auswärts gebogenen Ränder ſolcher Gefäße. Auf der Adhäſion beruht ferner die Bewegung des ſchottiſchen Drehers, eines Körpers, der wie eine Glaslinſe mit der convexen Unterfläche auf einer geneigten Glastafel liegt. Iſt dieſe Platte trocken, ſo bewegt er ſich auf derſelben ohne irgend ein auffallendes Phänomen abwärts, wird aber an die Stelle, wo er ſich befindet, ein Waſſertropfen gebracht, der ſich ausbreitet und die convexe Fläche ſo umſchließt, daß er daſelbſt einen Meniskus bildet; ſo beginnt der Körper ſich in drehender Bewegung abwärts zu bewegen, und kann durch Neigen der Glastafel nach dieſer oder jener Seite beliebig herumgeführt werden. Dieſe und noch viele andere Erſcheinungen, bei denen Adhäſion ins Spiel tritt, als: der ſtarke Zuſammenhang zwiſchen zwei angefeuchteten oder nur angehauchten und dann zuſammengeſchobenen Glasplatten, oder jener zweier Metallplatten, die mit flüſſigem Fett überſtrichen und hierauf der Kälte ausgeſetzt werden, damit das Fett ſtocke (Muſſchenbrock's Cylinder); ferner das Zuſammenbacken feiner feuchten Erdtheile zu einer ſoliden Maſſe (Sandſtein), die Schwierigkeit naſſe Papierblättchen von einander zu trennen, welcher Umſtand überhaupt bei dem Feſtwerden der Körper eine große Rolle zu ſpielen ſcheint; das Aufſteigen des Waſſers in engen Röhren, in Sand; des Weingeiſtes, Oehles in den Lampendochten, und unzählige ähnliche, machen eine eigene Claſſe aus, welche man unter der gemeinſchaftlichen Benennung »Capillarphänomene« zuſammenfaßt, und deren genauerer Betrachtung eine beſondere Abtheilung dieſes Buches gewidmet iſt.

45. Die Adhäſionskraft iſt oft ſtark genug, um andere Kräfte, wie z. B. die Ausdehnſamkeit, Cohärenz und Schwere zu überwältigen und dadurch beſondere Phänomene hervorzubringen, die unter dem Namen Abſorption, Auflöſung und Miſchung vorkommen. Abſorption findet vorzüglich bei poröſen und fein gepulverten Stoffen Statt und beſteht darin, daß von denſelben ausdehnſame Körper, beſonders Gaſe in die Zwiſchenräume aufgenommen und in denſelben verdichtet werden. Solche Körper bieten nämlich den Gaſen eine in Verhältniß zu ihrer Maſſe beſonders große Oberfläche dar, und es findet demnach die Adhäſion in einer großen Ausdehnung Statt. Iſt nun die Adhäſionskraft ſtark genug, um der Ausdehnſamkeit Abbruch zu thun, ſo dringt in dem Maße, als letztere vermindert wird, mehr Gas in die Zwiſchenräume ein, bis endlich das in dieſen Poren verdichtete eben ſo viel Ausdehnſamkeit hat, als das von der Adhäſionskraft nicht afficirte außerhalb derſelben. Verſuche mit friſch geglühter und in Queckſilber (nicht in der Luft) abgekühlter Kohle, poröſes Holz, Meerſchaum, Wollen- und Seidenzeuge, Platinpulver, feiner aus Jodſilber durch das Licht ausgeſchiedener Silberſtaub rc. rc. bieten Objecte zur Beobachtung dieſes Verhaltens dar. Das Schäumen von Sauerwäſſern, mouſſirenden Weinen, Bouteillenbiere rc. rührt vom Loswerden der abſorbirten Gaſe her.

46. Wirkt die Adhäſionskraft, welche zwiſchen einer tropfbaren Flüſſigkeit und einem feſten Körper Statt findet, ſo ſtark, daß dadurch die Coharenz der Theile des letzteren überwältiget wird; ſo ſagt man, er löſe ſich in der Flüſſigkeit auf. Wird z. B. ein Stück Kochſalz in Waſſer gelegt, ſo verſchwindet es nach und nach und das Waſſer hat ſich in eine Salzſole verwandelt. Hier iſt alſo das Salz vom Waſſer nicht bloß benetzt worden, ſondern es wurde der Zuſammenhang ſeiner Theile aufgehoben und jedes Waſſertheilchen hat ſich an ein Salztheilchen gleichſam angehängt. Eine Flüſſigkeit, welche einen feſten Körper auf ſolche Weiſe auflöſet, heißt ſein Auflöſungsmittel. Es iſt vorauszuſehen, daß ſich nicht jeder feſte Körper in jeder Flüſſigkeit auflosen könne und die Erfahrung entſpricht dieſem in der That. Selbſt eine Flüſſigkeit, die einen Stoff auflöſet, nimmt von demſelben nicht jede beliebige Quantität auf, ſondern es gibt ein gewiſſes Quantum deſſelben, über welches hieraus keine Auflöſung erfolgt. Man ſagt von einer Flüſſigkeit, die von einem Stoffe ſo viel aufgelöſet hat, als ſie vermag, ſie ſey mit demſelben geſättiget. Das zur Sättigung nöthige Quantum des feſten Stoffes hängt von der Natur der beiden ſich auflöſenden Körper und von ihrer Temperatur ab, und wächſt meiſtens, jedoch nicht immer, mit der Temperatur. Oft kann eine Flüſſigkeit, die ſchon mit einem Körper geſättiget iſt, von einem andern noch etwas auflöſen. Uebrigens nimmt eine Flüſſigkeit nicht die ganze Maſſe, welche ſie auflöſen kann, mit gleicher Leichtigkeit auf, ſondern es geht die Auflöſung immer langſamer vor ſich, je näher man dem Sättigungspunkte kommt.

100 Gewichtstheile Waſſer löſen bei jeder Temperatur 37 Theile Kochſalz, aber nicht mehr auf; ſie ſind aber bei 0° C. ſchon mit 13.3 Theilen Salpeter, bei 10° C. mit 29.4 Th., bei 55° C. mit 97 Th. und bei 98° C. erſt mit 236.5 Th. geſättiget. Eine geſättigte heiße Salpeterauflöſung läßt darum beim Abkühlen Salpeter fallen. Duplikatſalz löſet ſich in warmem Waſſer ſchwerer als in kaltem. Die Löslichkeit des waſſerfreien Glauberſalzes ſteigt bis 33° C und nimmt von da an mit ſteigender Wärme wieder ab, ſo daß ſie bei 95° eben ſo groß iſt wie bei 35°. Eine geſättigte Kochſalzauflöſung kann noch Salpeter auflöſen, ja ſogar eben ſo viel wie reines Waſſer.

47. Zwei tropfbare Flüſſigkeiten ſollen ſich, wie in der Folge näher gezeigt werden wird, nach Maßgabe ihrer Dichte in Schichten abſondern, wo die dichtere den unteren Platz einnimmt, und nur ſolche, die gleiche Dichte haben, können ohne Dazwiſchenkunft einer anderen Kraft ein gleichartiges Gemenge darſtellen. Der Erfahrung zu Folge kann aber die Adhäſionskraft zwiſchen zwei Flüſſigkeiten die Wirkungen der Schwere modificiren, und ſelbſt zwiſchen zwei ungleich dichten Flüſſigkeiten ein ſtabiles gleichförmiges Gemenge erzeugen. Man nennt dieſes eine **Miſchung**. Eine ſolche ſtellen Alkohol und Waſſer, atmoſphäriſche Luft und Waſſerdunſt ꝛc. dar. Dabei gibt es in der Regel keine Sättigung und es können zwei Flüſſigkeiten in jedem beliebigen Verhältniſſe gemiſcht vorkommen.

48. Eine andere, wie es ſcheint, von allen bisher betrachteten Kräften verſchiedene Kraft iſt jene, welche man **chemiſche Vereinigungskraft**, wohl auch **chemiſche Anziehung**, **Affinität** oder **Verwandtſchaft** nennt. Sie bewirket die Vereinigung ungleichartiger Stoffe zu einem gleichartigen Ganzen mit Eigenſchaften, welche von denen der Beſtandſtoffe weſentlich abweichen. Sowohl den Act der Vereinigung als auch das Product derſelben nennt man **chemiſche Verbindung**. Ein Körper, der aus ungleichartigen, durch die chemiſche Anziehung vereinigten Theilen beſteht, heißt chemiſch **zuſammengeſetzt**, ein ſolcher, bei dem ſich keine ungleichartigen Beſtandtheile nachweiſen laſſen, wird als chemiſch **einfach** angeſehen.

Ein ſehr deutliches Beiſpiel einer ſolchen Verbindung geben Blei und Schwefel. Bringt man Blei mit ſchmelzendem Schwefel in Berührung, ſo verbinden ſie ſich zu einem feſten Körper, Bleiglanz genannt. Dieſer iſt in allen weſentlichen Eigenſchaften von ſeinen Beſtandſtoffen verſchieden, er iſt feſt, ſpröde, grau und läßt weder mit freiem Auge noch mit dem Microſcop eine Spur von Blei oder Schwefel erkennen. Einen ſolchen Körper erhält man nicht, man mag Schwefel und Blei wie immer fein zuſammenreiben, er iſt darum auch nicht ein Aggregat von Schwefel- und Bleipartikeln.

49. Die chemiſche Vereinigungskraft hat nicht bloß der Cohärenz, Ausdehnſamkeit und Schwere entgegen zu wirken, wie die Adhäſionskraft bei den Phänomenen der Löſung, Abſorption und Miſchung ſondern ſie muß die homogenen Atome der ſich verbindenden Körper zuerſt von einander trennen und dann die heterogenen Atome mit

einander vereinigen. Sie leiſtet in letzterer Hinſicht das bezüglich der ungleichartigen Körperatome, was die Cohärenzkraft bezüglich der homogenen leiſtet, und iſt demnach gewiſſermaßen Cohärenzkraft für heterogene Atome. Sie wirkt wie die früher betrachteten Kräfte nur auf ſehr geringe Entfernungen, und die Stoffe, welche ſie vereinigen ſoll, müſſen ſich demnach berühren. In der Regel muß wenigſtens einer dieſer Stoffe flüſſig ſeyn, es mag nun der flüſſige Zuſtand desſelben durch Löſung (auf naſſem Wege) oder durch Erhitzung (auf trockenem Wege) hervorgebracht werden. Zwei feſte Körper berühren ſich an zu wenigen Puncten und beſitzen zu viel Cohärenz ihrer Theile, als daß die chemiſche Anziehung ihre Wirkung äußern könnte, beſonders wenn das Product dieſer Vereinigung ſelbſt ein feſter Körper iſt und demnach bald zwiſchen den zwei Stoffen, die ſich verbinden ſollen, eine Scheidewand bildet. Selbſt wenn einer oder beide dieſer Stoffe flüſſig ſind, wird eine beſtimmte, oft erhöhte Temperatur derſelben erfordert, um die Verbindung möglich zu machen. So z. B. verbindet ſich Kupfer nicht mit tropfbarem, ſondern nur mit ausdehnſamen Schwefel, alſo nur bei einer Temperatur, wo letzterer flüchtig iſt; mit Sauerſtoff gar nur in der Glühhitze. Oft kann das Licht eine hohe Temperatur erſetzen, wie dieſes bei einem Gemenge von Chlor= und Waſſerſtoffgas der Fall iſt, die ſich im Sonnenlichte raſch und mit Exploſion verbinden. Ein Körper, der ſo eben aus einer Verbindung mit einem andern tritt, oder wie man zu ſagen pflegt, ſich in statu nascenti befindet, geht in der Regel leichter eine andere Verbindung ein, entweder weil er in dieſem Zuſtande noch nicht die ihm eigenthümliche Cohärenz angenommen hat, oder weil er ſich ſchon in Bewegung befindet und nicht erſt ſeine Trägheit zu überwinden iſt. Häufig wird die chemiſche Verbindung zweier Stoffe durch die Gegenwart eines dritten vermittelt, der entweder ſich mit dem chemiſchen Producte verbindet (disponirende Verwandtſchaft) oder durch ſeine bloße Gegenwart wirkt, ohne ſelbſt eine Verbindung einzugehen (Contactſubſtanz). So verbinden ſich manche Körper nur mit einander, wenn einer derſelben waſſerhaltig iſt, wie dieſes bei der Barynterde zu ſehen iſt, die ſich nur mit feuchtem, nicht mit trockenem Kohlenſäuregas verbindet; eben ſo verbinden ſich Stickſtoff und Sauerſtoff nur in Gegenwart von Kali zu Salpeterſäure, und dieſe vereiniget ſich gleich mit dem Kali zu Salpeter; Sauerſtoffgas und Waſſerſtoffgas vereinigen ſich bei der gewöhnlichen Temperatur nicht chemiſch, ſie mögen wie immer mit einander gemengt ſeyn, kommt aber dieſes Gemenge mit Platinpulver in Berührung, ſo erfolgt deren Verbindung augenblicklich. Körper, die im Acte einer chemiſchen Verbindung begriffen ſind, eignen ſich beſonders, um in Stoffen, welche ſie berühren, dieſelbe chemiſche Veränderung hervorzurufen, welche ſie ſelbſt erleiden.

50. Außer den im Vorausgegangenen betrachteten Eigenſchaften der Körper gibt es noch andere, die man auch allgemeine nennen könnte, weil ſie an allen Körpern wahrzunehmen ſind, nämlich die Fähigkeit unter gewiſſen Umſtänden ſichtbar und gar leuchtend zu ſeyn, elektriſch

zu werden ꝛc.; aber dieſe ſind von der Exiſtenz eigener, allenthalben vorhandener Agentien abhängig, die man meiſtens wohl auch als materiell annimmt, aber von ſo feiner Beſchaffenheit denket, daß ſie ſich weder dem Taſtſinne verrathen, noch durch das Gewicht wahrgenommen werden können. Man nennt ſie darum unwägbare Stoffe, Imponderabilien. Von dieſen wird der zweite Theil dieſes Werkes beſonders handeln, während der erſte den wägbaren Stoffen gewidmet iſt.

51. Die über die Eigenſchaften der Körper und ihre Kräfte angeſtellten Betrachtungen, verbunden mit Erfahrungen über die chemiſche Zuſammenſetzung, von denen in der Folge die Rede ſeyn wird, haben den Naturforſchern Anhaltspuncte geliefert, um ſich von der Conſtitution der Körper aus ihren kleinſten Theilen beſtimmte Vorſtellungen zu bilden. Obwohl dieſe noch bei weitem nicht zur vollen Klarheit gediehen ſind, ſo gewähren ſie doch ein oft nützliches Aushülfsmittel. Folgende Anſicht ſcheint mir dem gegenwärtigen Zuſtande unſeres Wiſſens am beſten zu entſprechen: Die materielle Grundlage jedes Körpers bilden die Atome. Dieſe ſind ausgedehnt und undurchdringlich, haben eine beſtimmte Geſtalt und erfüllen ihren Raum mit Stätigkeit ohne Zwiſchenräume. Sie ſind darum weder zuſammendrückbar, noch ausdehnbar. Dieſe Atome ſind der eigentliche Sitz jener Anziehungskraft, welche den Zuſammenhang der Theile bedingt: vermöge dieſer vereinigen ſie ſich zu Atomengruppen, Molekel genannt. Chemiſch einfache Körper haben auch einfache Atome, d. h. ſolche, die durch keine bekannte Naturkraft weiter in heterogene Theile zerlegt werden können, chemiſch zuſammengeſetzte Stoffe hingegen haben zuſammengeſetzte, d. h. aus heterogenen Atomen beſtehende Atome; aber dieſe kann keine äußere Gewalt, ſondern nur eine chemiſche Kraft in ihre Beſtandatome auflöſen. Eben ſo verhält es ſich mit den Molekeln. Dieſe kann keine äußere Gewalt in Atome zerfällen, ſondern es iſt dazu eine chemiſch wirkende Kraft oder die Wärme nöthig. Dieſelben Atome können ſich auf verſchiedene Weiſe zu Molekeln gruppiren; in einem Molekel berühren ſich höchſt wahrſcheinlich die Atome nicht, ſondern jedes Atom iſt von einer Wärmeatmoſphäre umgeben, deren Abſtoßung die Berührung der einzelnen Atome hindert und macht, daß dieſe immer in bedeutenden Abſtänden von einander ſich befinden. In feſten Körpern hat die von den Atomen ausgehende Anziehungskraft das Uebergewicht über die Abſtoßungskraft der Wärme; in einem geringeren Grade findet dieſes bei den tropfbaren Statt, aber bei den ausdehnſamen gilt das Umgekehrte und es überwiegt die Abſtoßungskraft der Wärme die Anziehungskraft der Materie.

Die Vorſtellungsweiſe, nach welcher den Körpern materielle Atome zum Grunde gelegt werden, heißt allgemein die atomiſtiſche Anſicht; einige denken ſich aber die kleinſten Körpertheile durch den Conflict zweier Grundkräfte, der anziehenden und abſtoßenden, unmittelbar entſtanden. Dieſe Vorſtellungsart heißt die dynamiſche. Ein Mittel, beide Anſichten mit einander zu vereinen, beſteht darin, anzunehmen, daß nur die Atome dynamiſch gebildet ſind.

Zweites Kapitel.

Materielle Verſchiedenheit der Körper.

52. Durch die allgemeinen Eigenſchaften und Kräfte ſtellen ſich die materiellen Dinge in der Natur als eine beſtimmte Klaſſe der erſchaffenen Weſen dar, die ſich von der andern Klaſſe, der nicht materiellen, weſentlich unterſcheidet. Die materiellen Dinge ſelbſt ſind von einander theils durch ſolche Eigenſchaften, die eine Abſtufung zulaſſen, wie z. B. dieſes bei der Poroſität, Theilbarkeit, Dichte ꝛc. der Fall iſt, theils durch äußere Eigenthümlichkeiten beſonderer Art, z. B. Farbe, Wärmezuſtand ꝛc. verſchieden. Ueberdieß gibt es aber Verſchiedenheiten, welche in der materiellen Beſchaffenheit ſelbſt liegen, und von dieſen ſoll hier die Rede ſeyn. Vermöge der chemiſchen Vereinigungskraft können ſich heterogene Stoffe ſo mit einander verbinden, daß daraus ein vollkommen homogenes Ganze hervorgeht, das Eigenſchaften hat, welche von denen der Beſtandkörper weſentlich abweichen. Ferner können ſich dieſelben Stoffe in verſchiedenen Quantitätsverhältniſſen mit einander chemiſch verbinden und in jedem Verhältniſſe eigene, von jedem andern abweichende Stoffe hervorbringen: endlich können ſich dieſelben Stoffe in demſelben Quantitätsverhältniſſe zu verſchiedenen Producten mit einander vereinigen, wahrſcheinlich, indem ſich ihre Atome zu verſchieden gruppirten Molekeln an einander reihen. Es können ſich demnach Körper durch die Natur ihrer chemiſchen Beſtandtheile, durch das quantitative Verhältniß derſelben und durch die Art ihrer Verbindung von einander unterſcheiden. Auf erſtere Weiſe unterſcheiden ſich Zinnober und Bleiglanz von einander (Zinnober beſteht aus Schwefel und Queckſilber, Bleiglanz aus Schwefel und Blei), auf die zweite Roheiſen und Stahl (Roheiſen enthält Eiſen und Kohlenſtoff, eben ſo Stahl, nur weniger Kohlenſtoff), auf die dritte Stärkemehl und Gummi (die beide ganz gleich zuſammengeſetzt ſind).

53. Aus welchen Stoffen ein Körper chemiſch zuſammengeſetzt iſt und in welchem Mengenverhältniſſe dieſe in ihm vorkommen, erfährt man in der Regel durch die Zerlegung (chemiſche Analyſe). Eine ſolche Zerlegung kann durch verſchiedene Mittel bewerkſtelligt werden, und zwar zunächſt durch Anwendung von Stoffen, welche zu einem Beſtandtheile des beſagten Körpers eine größere Affinität beſitzen, als die Beſtandtheile deſſelben unter ſich; ferner durch Wärme, Licht, Electricität und ſogar durch gewiſſe Stoffe, welche man mit dem zu zerſetzenden Körper in Berührung bringt, und welche zerlegend wirken, ohne ſelbſt eine Verbindung einzugehen. Die Zerlegung eines Körpers durch überlegene Verwandtſchaft wird Wahlverwandtſchaft genannt. Wird nämlich zu einem Stoffe A B, d. h. zu einem ſolchen, deſſen chemiſche Beſtandtheile A und B ſind, ein Stoff C gegeben, der zu A eine größere chemiſche Anziehungskraft hat, als A zu B; ſo erfolgt die Zerlegung von A B, indem ſich A mit C verbindet, das Product A B erzeugt und B frei wird, in welchem Falle man dann B als Beſtandtheil von A B betrachtet. Dieſe Zerlegung erfolgt durch ein-

fache Wahlverwandtſchaft, weil hier nur ein Stoff C als wählender, der andere A aber als gewählter erſcheint. Hat man aber zu dem Körper A B den Stoff C D gegeben und hat ſich A mit C, B mit D verbunden und ſind demnach zwei neue Producte A C und B D entſtanden, ſo haben gewiſſermaßen zwei Körper gewählt und die Verwandtſchaft wird doppelte Wahlverwandtſchaft genannt. Durch einfache Wahlverwandtſchaft wird Zinnober vom Eiſen zerlegt, wobei Schwefeleiſen entſteht und Queckſilber frei wird; ferner Zinkoxyd vom eſſigſauren Bleioxyd (Bleizucker), wodurch eſſigſaures Zinkoxyd gebildet und Blei ausgeſchieden wird. Durch doppelte Wahlverwandtſchaft zerlegt man ſchwefelſaures Kali (Duplikatſalz) mit ſalpeterſaurem Baryt und erzeugt dadurch ſalpeterſaures Kali (Salpeter) und ſchwefelſauren Baryt (Schwerſpath). Stoffe, welche auf ſolche Weiſe chemiſche Zerlegungen erzeugen, wirken dabei nicht immer bloß durch ihre größere chemiſche Anziehung, ſondern es haben auch Nebenumſtände darauf Einfluß, und zwar die Löslichkeit und Flüchtigkeit der Stoffe und die Größe ihrer Maſſe. So z. B. wird kohlenſaures Kali durch Eſſigſäure zerlegt, wenn es im Waſſer gelöſet iſt, und es entſteht eſſigſaures Kali und Kohlenſäuregas wird frei. Kohlenſäuregas zerlegt aber wieder umgekehrt das eſſigſaure Kali und macht Eſſigſäure frei, weil kohlenſaures Blei, das ſich hiebei bildet, nicht im Waſſer löslich iſt. Kieſelſäure und Phosphorſäure ſind viel ſchwächere Säuren als Salpeter- oder Salzſäure, und doch werden in der Hitze, wo ſich letztere aber nicht erſtere verflüchtigen, die ſalpeterſauren und ſalzſauren Salze durch Kieſel- oder Phosphorſäure zerlegt. Schwefelſaures Kali wird durch Salpeterſäure, die man in großer Maſſe anwendet, zerlegt, ungeachtet die Schwefelſäure an und für ſich ſtärker iſt als die Salpeterſäure. Wärme ſteigert wohl die chemiſche Anziehung, macht aber auch oft Stoffe ausdehnſam und bewirkt dadurch eine Zerlegung. So z. B. wird kohlenſaurer Kalk durch Glühhitze zerlegt, Aetzkalk erzeugt und Kohlenſäuregas frei gemacht (Kalkbrennen). Silberſalze werden durch Licht, Waſſer wird durch Electricität zerlegt. Silber beſtimmt das Zerfallen des Waſſerſtoffſuperoxyds in Waſſer und Sauerſtoff, ein Ferment das des Zuckers in Alkohol und Kohlenſäure durch bloße Berührung, ohne ſelbſt eine Veränderung zu erleiden. Ein Stoff, der ſo wirkt, wie hier das Silber oder das Ferment, heißt eine Contactſubſtanz, die Zerlegung dieſer Art wird Katalyſe genannt. (Berzelius Jahresbericht 15. 237.)

54. Durch die ſo eben beſprochene Zerlegung eines Körpers erhält man meiſtens jene Beſtandtheile, aus welchen er zunächſt beſteht und die man darum auch ſeine näheren Beſtandtheile nennt. Dieſe ſind oft ſelbſt wieder zuſammengeſetzt und können durch fernere Zerlegung wieder in ihre Beſtandtheile aufgelöſet werden, welche demnach die ferneren Beſtandtheile jenes Stoffes ſind. Es iſt klar, daß dieſes nicht ins Unendliche fortgehen könne und daß man auf Stoffe kommen müſſe, die man durch alle zu Gebote ſtehenden Zerlegungsmittel nicht mehr weiter zerfällen kann. Dieſe Stoffe können mit Recht unzer-

legte Stoffe heißen, werden aber von den Chemikern oft auch chemiſch einfache, Grundſtoffe oder Elemente genannt, ohne damit mehr ſagen zu wollen, als daß ſie bis jetzt noch nicht zerlegt werden konnten.

55. Die Grundſtoffe der Körper gehen unter ſich vielerlei Verbindungen ein, und es können ſich dieſelben Stoffe zu ſehr verſchiedenen Producten vereinigen. Daraus wird es begreiflich, wie es komme, daß man oft bei der Zerlegung der Körper Stoffe erhält, die in dieſer Art nicht im zerlegten Körper enthalten waren, ſondern ſich erſt während des Prozeſſes der Zerlegung gebildet haben. Man nennt ſie Producte und unterſcheidet ſie von jenen Stoffen, die ſo wie ſie bei der Zerlegung zum Vorſchein kommen, im Körper enthalten ſind, den man der Analyſe unterworfen hat, und die man Educte nennt. So z. B. iſt die Kohlenſäure, die man beim Kalkbrennen erhält, ein Educt, der Theer, welcher bei der Zerſetzung des Holzes durch trockene Deſtillation erhalten wird, ein Product. Um daher bei der Beurtheilung der chemiſchen Zuſammenſetzung eines Körpers nicht irre geleitet zu werden, iſt es nothwendig zu verſuchen, denſelben aus den Stoffen, welche die Zerlegung nachweiſet, zuſammenzuſetzen und ſomit die Analyſe durch Syntheſe zu controlliren.

56. Es iſt nicht genug zur Erlangung einer vollſtändigen Kenntniß der chemiſchen Natur der Stoffe, zu erfahren, aus welchen Beſtandtheilen ein Körper beſteht, oder wie man zu ſagen pflegt, ihn qualitativ zu analyſiren, ſondern es iſt auch nothwendig zu unterſuchen, in welchem Quantitätsverhältniſſe er dieſe Stoffe enthält, d. h. ihn einer quantitativen Analyſe zu unterziehen. Die qualitative Analyſe beruht darauf, daß die Vereinigung oder Zerlegung beſtimmter Körper in der Regel mit beſtimmten Erſcheinungen verbunden iſt, aus deren Eintritte man mit Zuverläßigkeit auf das Daſeyn des einen oder andern Stoffes ſchließen kann. Darum iſt es oft angemeſſen, um das Daſeyn eines Stoffes in einer Verbindung zu erfahren, ihm einen andern Stoff zuzuſetzen und die dabei eintretende Veränderung zu beobachten. Solche Stoffe, welche die Gegenwart anderer durch gewiſſe in die Sinne fallende Phänomene anzeigen, nennt man Reagentien. So z. B. iſt Eiſen ein Reagens auf Kupfer, weil es das Kupfer in reguliniſcher Geſtalt aus einer Kupferſalzlöſung ausſcheidet; ſalpeterſaures Silber ein Reagens auf Chlor, weil es in einer Flüſſigkeit, die Chlor oder Chlorſalze enthält, eine weiße Trübung hervorbringt, die ſich im Lichte ſchwärzt. Manche Reagentien ſind von unglaublicher Empfindlichkeit, wie z. B Jod auf Stärke (Siehe Anleitung zur qualitativen Analyſe von Dr. R. Freſenius. 2. Aufl. Braunſchweig, 1843; Buchner, Verſuche über das Verhalten der Auflöſung chemiſcher Stoffe zu Reagentien. Nürnberg, 1834; Elemente der analytiſchen Chemie von Winkelblech. Marburg, 1838; Roſe's analytiſche Chemie. Berlin 1838; Lassaigne in Journ. de chim. méd. 8. 513 u. 577.)

57. Um jene Prozeſſe einzuleiten, welche erforderlich ſind, um die chemiſche Natur der Körper, wenn auch nur qualitativ, kennen zu

lernen, muß man gewiſſe chemiſche Operationen verrichten können und im Beſitze der hiezu nöthigen chemiſchen Apparate ſeyn. Zu dieſen Operationen gehören: das Auflöſen, Fällen, Filtriren, Decantiren, Abdampfen, Deſtilliren, Sublimiren, Glühen, Schmelzen. Die nöthigen Geräthſchaften ſind Oefen, in denen Kohlenfeuer, ſehr häufig auch Lampenfeuer (Lampenöfen) entweder durch einen natürlichen Luftzug (Windöfen), oder durch künſtlich zugeführte comprimirte Luft (Gebläſeöfen) unterhalten wird, die nicht ſelten mit einem gewölbten Deckel und einer Kuppel (Reverberir- oder Kuppelöfen) verſehen ſind, und in welchen die Körper, welche man der Hitze ausſetzen will, entweder im Schmelztiegel mitten zwiſchen die Kohlen oder oberhalb derſelben in ein eigenes Gefäß (Capelle) geſtellt werden. Im letzteren Falle wird der Raum, den der Körper und das ihn enthaltende Gefäß übrig läßt, der gleichförmigen Erwärmung wegen, mit feinem trockenen Sande (Sandbad) oder mit Waſſer (Waſſer- oder Marienbad) ausgefüllt. Nicht minder wichtig ſind Gefäße von allerlei Formen und aus verſchiedenem Materiale, wie z. B. gläſerne, thönerne, porzellanene, metallene Kolben, Schalen, Retorten, Vorſtöße, Woulfeſche Flaſchen im Einzelnen oder zu einem Woulfeſchen Apparate verbunden, Abrauchſchalen, Filtrirgefäße nebſt paſſenden Filtrirtrichtern, Gasentwicklungsflaſchen, eine pneumatiſche Waſſer- oder Queckſilberwanne oder ſtatt deren auch Pepy's Gasbehälter, mit den nöthigen Recipienten und Guyton'ſchen Trägern ꝛc.

Ungeachtet man heut zu Tage viel genauer arbeitet als früher, ſo braucht man doch nicht ſo viele Apparate. Insbeſondere bedient man ſich gegenwärtig bei chemiſchen Arbeiten faſt durchgehends kleinerer Körpermengen als es früher gebräuchlich war, und erzielt doch genauere Reſultate (Döbereiner, zur mikrochemiſchen Experimentirkunſt. Jena, 1821. Chemical manipulation by *M. Faraday*. London 1829). Faſt alle Operationen, auf welchen die Demonſtration der in dieſem Kapitel vorzutragenden Erſcheinungen beruht, laſſen ſich theils mit der einfachen Spirituslampe, theils mit einer Berzelius'ſchen Lampe mit doppeltem Luftzuge ausführen, wobei die Stoffe bloß in gläſernen Gefäßen, oft nur in Glasröhren enthalten ſind, die man manchmal mit kugelförmigen Erweiterungen an beſtimmten Stellen verſieht.

58. Bis jetzt haben die chemiſchen Unterſuchungen 56 Grundſtoffe kennen gelehrt und überdieß noch zwei neue in Ausſicht geſtellt; es iſt aber kaum zu zweifeln, daß ihre wirkliche Anzahl noch viel größer ſey. Man kann ſie in zwei Klaſſen eintheilen, nämlich in metalliſche und nicht metalliſche. Letztere werden oft auch Metalloide genannt. Folgendes Verzeichniß enthält die Namen derſelben:

I. Nicht metalliſche Grundſtoffe. — 1) Sauerſtoff, 2) Waſſerſtoff, 3) Stickſtoff, 4) Kohlenſtoff, 5) Chlor, 6) Brom, 7) Jod, 8) Fluor, 9) Schwefel, 10) Selen, 11) Phosphor, 12) Kieſel, 13) Bor.

II. Metalliſche Grundſtoffe. — 14) Kalium, 15) Natrium, 16) Lithium, 17) Baryum, 18) Strontium, 19) Calcium, 20) Magnium, 21) Aluminium, 22) Beryllium, 23) Zirkonium, 24) Yttrium, 25) Thorium, 26) Arſen, 27) Tellur, 28) Antimon, 29) Tantal, 30) Titan,

31) Wolfram, 32) Molybdän, 33) Vanadin, 34) Chrom, 35) Osmium, 36) Rhodium, 37) Palladium, 38) Iridium, 39) Didym, 40) Platin, 41) Gold, 42) Silber, 43) Queckſilber, 44) Kupfer, 45) Uran, 46) Zinn, 47) Wismuth, 48) Blei, 49) Cadmium, 50) Zink, 51) Nickel, 52) Kobalt, 53) Eiſen, 54) Mangan, 55) Cer, 56) Lanthan. Die zwei neuen Grundſtoffe, auf welche vorhin hingedeutet worden, ſind das Erbium und Therbium, die Moſiander in der Yttererde gefunden haben will (Pogg. Ann. 60. 297). Man hat verſucht, dieſe Grundſtoffe in Gruppen abzutheilen, wovon die in dieſelbe Gruppe gehörigen Verbindungen von ähnlicher Beſchaffenheit geben, ſo daß man von dem Charakter der Verbindungen eines Gliedes einer Gruppe auf jenen der Verbindungen der andern Glieder ſchließen kann; allein man hat bis jetzt noch keine genügende Abtheilung dieſer Art finden können. — Nachſtehendes enthält eine kurze Charakteriſtik dieſer Stoffe.

59. Den Sauerſtoff oder das Oxygen kennt man im freien Zuſtande nur als Gas, und erhält ihn in dieſer Form durch Zerſetzung mehrerer ſauerſtoffhaltigen Körper, wie z. B. des rothen Queckſilberoxydes, des ſchwarzen Braunſteines, des chlorſauren Kali's, des zweifach chromſauren Kali's. Das Sauerſtoffgas iſt geſchmack- und geruchlos und nicht ſichtbar es wird vom Waſſer nur in ſehr geringer Menge aufgenommen, unterhält das Athmen und Brennen viel beſſer als atmoſphäriſche Luft, ſo zwar, daß ein Thier in einer Portion Sauerſtoffgas 5—6mal länger leben kann, als in einer gleichen Portion atmoſphäriſcher Luft, und daß Körper, die in der atm. Luft nur matt brennen, wie z. B. eine Stahlfeder, eine Kohle, im Sauerſtoffgaſe mit ungemeiner Lebhaftigkeit verbrennen. Darum heißt dieſes Gas auch Lebensluft oder Feuerluft. Der Sauerſtoff geht faſt mit allen Grundſtoffen Verbindungen ein. Der Act dieſer Verbindung heißt Oxydation und das Product oxydirter Stoff oder Oxyd im weiteſten Sinne des Wortes. Der Sauerſtoff wurde 1774 von Prieſtley und 1775 von Scheele entdeckt. Was man im gemeinen Leben Verbrennen nennt, iſt in der Regel eine Oxydation.

Das rothe Queckſilberoxyd zerfällt in einer kleinen Glasretorte mittelſt einer Weingeiſtlampe mit doppeltem Luftzuge ſtark erhitzt, in Queckſilber, welches man in einem vorgelegten Ballon auffängt, und in Sauerſtoff, der in die pneumatiſche Vorlage übergeht. Reiner Braunſtein iſt Manganhyperoxyd, er gibt bei gelindem Glühen 9, bei heftigem Glühen 12, mit Schwefelſäure übergoſſen und mäßig erhitzt 18 Procente ſeines Gewichtes Sauerſtoff ab. Sehr leicht und ſehr rein erhält man das Sauerſtoffgas aus dem chlorſauren Kali, welches in einer kleinen gläſernen Retorte mit pneumatiſcher Vorlage mittelſt einer Weingeiſtlampe über den Schmelzpunct erhitzt, ſich ſo zerſetzt, daß in der Retorte Chlorkalium zurückbleibt und 39 Proc. Sauerſtoff ausgeſchieden werden. Demnach liefert ein Loth dieſes Salzes 260 Kubikzoll oder nahe $3^1/_3$ Maß Sauerſtoffgas. Mit ſehr gelinder Hitze geht die Operation vor ſich und gewinnt ausnehmend an Bequemlichkeit, wenn man das chlorſaure Kali mit reinem Braunſtein mengt, etwa 2 Gewichtstheile chlorſaures Kali mit 1 Th. Braunſtein. Doch hat hier die Erwärmung mit Aufmerkſamkeit zu geſchehen, um allzu-

raſcher Gasentwicklung vorzubeugen; ſobald dieſe lebhaft wird, entfernt man die Flamme. Der Braunſtein an ſich bleibt hiebei unzerlegt. Die leichteſte und wohlfeilſte Erzeugung des Sauerſtoffgaſes wird durch Erhitzen eines Gemenges von 3 Th. zweifach chromſaurem Kali und 4 Th. concentrirter Schwefelſäure bewerkſtelligt. Man erhält 16 Procent des Kaliſalzes an reinem Sauerſtoffgas. Man braucht das Sauerſtoffgas zu Reſpirationsapparaten, zur Belebung erſtickter Scheintodter, zum Verbrennen ſchwer brennbarer Stoffe ꝛc.

60. Auch freien Waſſerſtoff (Hydrogen) kennt man nur in gasförmigem Zuſtande; er wird durch Zerſetzung des Waſſers erhalten, das ein Oxyd deſſelben iſt. Das Waſſerſtoffgas iſt farb-, geſchmack- und im reinen Zuſtande auch geruchlos, wird vom Waſſer nur in geringer Menge aufgenommen, es iſt die leichteſte aller Gasarten, weder zum Athmen, noch zur Unterhaltung des Brennens geeignet; ſelbſt kann es aber in Berührung mit atmoſphäriſcher Luft angezündet werden und fortbrennen, ja wenn es mit Sauerſtoffgas oder atmoſphäriſcher Luft (am beſten 2 Volume Waſſerſtoff und 1 Vol. Sauerſtoff oder 2 Vol. atm. Luft) gemiſcht und dann angezündet wird; ſo verbrennt das Gemenge auf einmal mit einem heftigen Knalle, wobei ſelbſt ſtarke Gefäße vermöge der plötzlich durch Erhitzung ſo ſehr geſteigerten Ausdehnſamkeit zerſprengt werden. Man nennt darum ein ſolches Gemenge Knallluft.

Leitet man Waſſerdämpfe durch ein glühendes eiſernes Rohr, ſo oxydirt ſich das Eiſen und es entwickelt ſich Waſſerſtoffgas. Am bequemſten aber erhält man dieſes Gas, wenn man verkleinertes Eiſen oder Zink mit Schwefelſäure, der man Waſſer zugeſetzt hat, in Verbindung bringt. Die Verwandtſchaft der Schwefelſäure zum Eiſen- oder Zinkoxyde nöthigt das Waſſer ſeinen Sauerſtoff an genanntes Metall abzutreten, wodurch der Waſſerſtoff in Freiheit geſetzt wird. Die fremdartigen Beſtandtheile, mit welchen das auf dieſe Weiſe bereitete Waſſerſtoffgas wegen Unreinheit des Eiſens oder Zinkes verunreinigt und denen der Geruch deſſelben zuzuſchreiben iſt, ſchafft man dadurch weg, daß man es durch paſſende Subſtanzen leitet, z. B. durch Queckſilberſublimatlöſung wegen eines darin befindlichen Antheiles Arſenik, durch Kalihydrat wegen des Schwefels, durch Weingeiſt wegen des aus Kohle und Waſſerſtoff ſich bildenden flüchtigen Oehles. Man kann das Waſſerſtoffgas zum Füllen der Luftbälle, zu Zündmaſchinen ꝛc. benützen. Seine große Leichtigkeit zeigt ſich am einfachſten durch das Aufſteigen von Seifenblaſen, die mit dieſem Gaſe gefüllt ſind. Man kennt den Waſſerſtoff erſt ſeit dem Jahre 1781 näher durch Cavendiſh und Lavoiſier's Verſuche über die Zuſammenſetzung des Waſſers. Die Entzündlichkeit der bei der Auflöſung von Zink in verdünnter Schwefelſäure ſich entwickelnden Luftart war längſt bekannt.

61. Daß das Waſſer ein Oxyd des Waſſerſtoffes ſey, wie vorher geſagt wurde, läßt ſich ſchon daraus entnehmen, daß Knallluft nach dem Verbrennen in Waſſerdampf verwandelt iſt, der ſich zu tropfbarem Waſſer verdichten läßt und am Gewichte gerade ſo viel beträgt wie die verzehrten Gaſe Doch kann man einen ſolchen Verſuch der damit verbundenen Gefahr wegen nur mit ſehr kleinen Gasmengen in ſtarken Glasröhren anſtellen. Um größere Gasquantitäten verbrennen zu kön-

nen, leitet man in einen großen, Sauerſtoffgas enthaltenden Ballon aus einem entſprechenden Gasbehälter in einem regelmäßigen Strome reines Waſſerſtoffgas und zündet es an der Ausſtrömungsöffnung an. Auf dieſem Wege hat man ſich überzeugt, daß zwei Volume Waſſerſtoffgas mit einem Vol. Sauerſtoffgas ſich zu Waſſer verbinden. Dieſes beträgt dem Gewichte nach auf 100 Theile Waſſer 11.09 Th. Waſſerſtoff und 88.9 Th. Sauerſtoff. Man hat dieſes Reſultat auch durch Analyſe controllirt: Wenn man bei der vorerwähnten Erzeugung von Waſſerſtoffgas, bei welchem man Waſſerdämpfe durch eine glühende eiſerne Röhre leitet, das Waſſer und die eiſerne Röhre vor und nach dem Verſuche wägt und auch das Gewicht des erhaltenen Waſſerſtoffgaſes beſtimmt; ſo ſieht man, daß das Gewicht dieſes Gaſes und die Gewichtszunahme des Eiſens zuſammengenommen genau das Gewicht des verzehrten Waſſers betragen.

62. Nur das unmittelbar aus ſeinen Beſtandtheilen erzeugte oder das durch Deſtillation des gewöhnlich vorkommenden Waſſers erhaltene iſt rein. In dieſem Zuſtande iſt es geſchmack- und geruchlos, höchſt durchſichtig, in kleinen Maſſen ohne merkliche Farbe, in größeren bläulichgrün. Das reinſte natürlich vorfindige Waſſer trifft man in den Eishöhlungen der Gletſcher an, wo es bloß mit Eis und Luft in Berührung ſteht und aus letzterer keine organiſche Stoffe aufnehmen kann. Das Waſſer ſpielt als allgemeines Auflöſungsmittel eine wichtige Rolle; mit vielen Stoffen geht es innigere Verbindungen ein, die man Hydrate nennt. Das gewöhnliche Waſſer nimmt darum Körper von verſchiedener Art auf, meiſtens aber Salze und Luftarten; durch erſtere bekommt es einen eigenthümlichen Geſchmack und wird zu manchem techniſchen Zwecke unbrauchbar; es heißt dann hartes Waſſer. Viele Stoffe nimmt es mechaniſch mit ſich fort, ſetzt ſie aber in der Ruhe wieder größtentheils ab. Waſſer, das organiſche Stoffe aufgenommen hat, bekommt einen übeln Geruch und Geſchmack, wird aber oft mit der Zeit wieder rein und trinkbar, weil dieſe Stoffe durch Fäulniß zu Grunde gehen. Aber ohne dieſes abzuwarten, kann man Waſſer reinigen, indem man es durch abwechſelnde Schichten von Kohle und Sand oder durch mehrere Sandſchichten leitet. Selbſt das reinſte Waſſer verdirbt mit der Zeit, weil es aus der Luft oder aus den Gefäßen, in denen es aufbewahrt wird, organiſche Stoffe aufnimmt. Durch Kohle, auch durch eine geringe Portion Kalk oder ſalpeterſaures Silber, kann man es vor dem Verderben lange Zeit ſchützen.

63. Den Stickſtoff (Azot, Nitrogen) kennt man gleichfalls nur als Gas. Dieſes beſitzt faſt nur negative Eigenſchaften, hat keine Farbe, keinen Geſchmack, keinen Geruch, wird vom Waſſer faſt gar nicht aufgenommen, unterhält das Brennen nicht und taugt nicht zum Einathmen. Man erhält das Stickgas, wenn man der atmoſphäriſchen Luft, die ein Gemenge von Sauerſtoff- und Stickgas iſt, den Sauerſtoff durch ein mit demſelben ſtark verwandtes Mittel, z. B. durch Phosphor, entreißt.

64. Mengt man 21 Volume Sauerſtoffgas mit 79 Vol. Stick-

gas, ſo erhält man Luft, wie ſie in der Atmoſphäre in dem reinſten Zuſtande vorhanden iſt. Daß die atmoſphäriſche Luft wirklich aus Sauerſtoffgas und Stickgas beſtehe, kann man auch auf analytiſchem Wege beweiſen. Folgendes iſt der älteſte zu dieſem Behufe angeſtellte Verſuch: Gibt man eine genau abgewogene Quantität Queckſilber in eine Retorte, die mit einem atm. Luft enthaltenden, durch Waſſer geſperrten Recipienten in Verbindung ſteht, erhitzt das Queckſilber und erhält es einige Zeit bei einer ſeiner Siedhitze nahe kommenden Temperatur; ſo bemerkt man, daß ſich die Luft im Recipienten vermindert und daß zugleich das Queckſilber in rothes Queckſilberoxyd übergeht. Dieſes wiegt mehr als das Queckſilber, woraus es entſtanden iſt, und zwar genau um ſo viel, als das Gewicht der verſchwundenen Luft beträgt. Hat man nicht zu wenig Queckſilber angewendet, ſo charakteriſirt ſich die übrig gebliebene Luft als Stickgas. Das aus dem rothen Queckſilberoxyde durch Glühen erhaltene Sauerſtoffgas gibt mit dem Stickgaſe gemengt atm. Luft wieder, gerade ſo, wie man ſie urſprünglich zum Verſuche gebraucht hat. Es unterliegt heut zu Tage keinem Zweifel mehr, daß Sauerſtoffgas und Stickgas in der Atmoſphäre nicht chemiſch verbunden, ſondern nur mechaniſch mit einander vermengt ſeyen.

Sperrt man ein Thier oder eine brennende Kerze in eine mit Luft gefüllte Glocke, ſo ſtirbt das Thier und es verliſcht die Kerze nach einiger Zeit, und zwar nachdem die Luft zuvor eine Verminderung erlitten hat, aber doch nicht ganz verzehrt iſt. Unterſucht man den Reſt derſelben, nachdem man ihn vorläufig zur Entfernung der etwa durch das Athmen oder Verbrennen entſtandenen fremdartigen Beimiſchung durch eine Auflöſung von Aetzkali geleitet hat, ſo findet man ihn aus lauter Stickgas beſtehend. Schon dieſer einfache Verſuch gibt zu erkennen, daß die atm. Luft Stickgas und einen zum Athmen und zur Unterhaltung des Brennens tauglichen Antheil enthalte. Die Zuſammenſetzung der Luft wurde 1775 durch Lavoiſier bewieſen.

65. Das in der atm. Luft vorhandene Verhältniß zwiſchen Sauerſtoffgas und Stickgas wird durch beſondere ſogenannte eudiometriſche Verſuche ausgemittelt, deren Weſentliches darin beſteht, daß man ein gemeſſenes Volum atm. Luft durch eine ſchickliche Subſtanz, z. B. durch Stickſtoffoxyd, Schwefelleber, Waſſerſtoff, Phosphor, glühendes Kupfer ꝛc. des Sauerſtoffes beraubt, und dann entweder das Volum des zurückgebliebenen Stickgaſes mißt, es von jenem der unterſuchten Luft abzieht und ſo den Sauerſtoffgehalt indirect ſucht, oder beſſer, indem man dieſen Gehalt aus der Gewichtsvermehrung des Körpers, der den Sauerſtoff aufgenommen hat, direct ableitet. Zur indirecten eudiometriſchen Unterſuchung braucht man am beſten Waſſerſtoffgas, und wendet am zweckmäßigſten Ure's oder Döbereiner's Eudiometer an; zur directen Unterſuchung empfiehlt Brunner Phosphor, Dumas und Bouſſingault wählten bei ihren Unterſuchungen Kupfer.

Ure's Eudiometer beſteht aus einer 3 — 4 Linien weiten Glasröhre, die in zwei einander parallele 8 — 9 Zoll lange Schenkel gebogen, an einem

Ende zugeſchmolzen und am geſchloſſenen Schenkel in gleiche Volumtheile getheilt iſt. Nahe am Ende dieſes Schenkels ſind zwei einander gegenüberſtehende Platindrähte eingeſchmolzen, deren Enden im Innern der Röhre etwa ½ Linie von einander abſtehen. Dieſe Röhre wird zum Behufe eines eudiometriſchen Verſuches mit Waſſer, beſſer mit Queckſilber gefüllt, und dann in den geſchloſſenen Schenkel zwei Raumtheile atmoſphäriſche Luft und ein Raumtheil Waſſerſtoffgas eingelaſſen. Hierauf macht man den Stand der Sperrflüſſigkeit bei aufrechter Stellung der Röhre in beiden Schenkeln gleich, ſchließt den offenen, nicht ganz mit Flüſſigkeit gefüllten Schenkel feſt mit dem Finger, und läßt mittelſt der Platindrähte einen elektriſchen Funken durch das eingefüllte Gas ſchlagen. Die unter dem Finger befindliche Luft dient ihrer Zuſammendrückbarkeit wegen dazu, den Stoß des in dem andern Schenkel explodirenden Gasgemenges auf das Waſſer oder Queckſilber zu mäßigen, und leiſtet dabei ſo viel Widerſtand, daß von dem abgeſchloſſenen Gasrückſtande nichts entweichen kann. Sobald das Luftvolum ſich verringert hat, ſchüttet man durch den offenen Schenkel Flüſſigkeit zu, um den Stand derſelben wieder in beiden Schenkeln gleich zu erhalten, und mißt dann das Luftvolum, um auf die erlittene Verminderung ſchließen zu können. Ein Drittel derſelben gibt den Gehalt an Sauerſtoffgas an. Volta's Eudiometer iſt ſelbſt mit der von Pepys und Gay-Luſſac angebrachten Verbeſſerung noch complicirter als dieſer Apparat (Ure's Handwörterbuch der praktiſchen Chemie. Weimar 1825. S. 482). Döbereiner füllt die atm. Luft und das Waſſerſtoffgas in eine einerſeits geſchloſſene graduirte Glasröhre ein, und bewirkt die Verbrennung durch ein auf ſehr ſinnreiche Weiſe eingeführtes Kügelchen Platinſchwamm (Deſſen Beiträge zur phyſ. Chemie. Hft. 2, S. 52). Brunner's eudiometriſcher Apparat beſteht aus einer Glasröhre a b (Fig. 6), welche an beiden Enden in ein enges Röhrchen ausgezogen iſt, in einer Länge von etwa 7 Zoll trockene Baumwolle, und weiter gegen a aber 12 — 13 Gran trockenen und an die Röhrenwand angeſchmolzenen Phosphor enthält, ferner aus einem Gefäße A, das durch eine Kautſchukröhre mit b verbunden iſt, unten einen Sperrhahn hat, beim Verſuche mit Queckſilber oder Olivenöhl gefüllt wird, und die Beſtimmung hat, in dem Maße, als man dieſe Flüſſigkeit durch den Hahn abfließen läßt, durch die Röhre a b Luft einzuſaugen; endlich aus dem Gefäße B, womit man das Volum der ausgefloſſenen Flüſſigkeit, und hiedurch zugleich jenes der durch a b eingeſaugten Luft mißt. Durch einen vorläufigen Verſuch wird die in a b enthaltene Luft durch einen Theil des Phosphors und der von der Baumwolle eingeſaugten phosphorigen Säure alles Sauerſtoffes beraubt, hierauf die Röhre in a und b zugeſchmolzen und ſo aufbewahrt. Will man ein eudiometriſches Experiment machen, ſo wiegt man die Röhre ſammt ihrem Inhalte genau, bricht dann die Spitzen ab und legt ſie zur Seite, verbindet a b mit dem Gefäße A, das bereits mit Oehl oder Queckſilber gefüllt iſt, ſtellt das Meßgefäß B unter, erhitzt den Phosphor, öffnet dann den Hahn und läßt die Flüſſigkeit aus A nach B abfließen. Damit in a nur trockene Luft eingeſaugt werde, ſetzt man daſelbſt ein mit Chlorcalcium verſehenes offenes Rohr an, durch welches die Luft zum Phosphor gelangt. Sobald die Flaſche B mit der abfließenden Maſſe gefüllt iſt, wird der Hahn geſchloſſen, die Röhre in a und b zugeſchmolzen und ſammt den vorher abgeſchnittenen Spitzen wieder gewogen. Die Gewichtszunahme gibt das Gewicht des Sauerſtoffes an, den das durch a b geleitete, der in B geſammelten Flüſſigkeit an Volum gleiche Luftquantum enthielt. Es ſcheint, als könne man nach dieſer Methode den Sauerſtoffgehalt bis auf 0,1 Proc. genau

beſtimmen, während das Waſſerſtoffgas-Eudiometer dieſes kaum bis auf 0,5 Proc zu thun geſtattet. Nach Dumas und Bouſſingault's Verfahren macht man einen großen gläſernen Ballon, an dem eine mit metalliſchem Kupfer gefüllte Röhre befeſtiget iſt, luftleer. Läßt man durch dieſe Röhre Luft in den Ballon ſtrömen, während das Kupfer roth glüht, ſo gibt ſie ihren Sauerſtoff an letzteres ab, und die Gewichtszunahme des Inhaltes der Röhre zeigt den Sauerſtoffgehalt der durchgeſtrömten Luft, der übrig gebliebene Stickſtoff geht in den Ballon über und kann durch Wägen beſtimmt werden. (Brunner in Pogg. Ann. 27. 1; 31. 1; 38. 164.)

66. Lange Zeit hindurch hat man es als eine Art Naturgeſetz angeſehen, daß in 100 Raumtheilen atm. Luft ſtets genau 21 Rth. Sauerſtoffgas und 79 Rth. Stickgas, oder in 100 Gewichtstheilen derſelben 23 Th. Sauerſtoff und 77 Th. Stickſtoff enthalten ſeyen, und hielt ſich zu dieſer Annahme durch Verſuche berechtiget, die man mit Luft zu verſchiedenen Tageszeiten, über feſtem Lande und über der See, nahe an der Erde oder in großen Höhen, im Freien und an mit Menſchen erfüllten Orten ꝛc. angeſtellt hatte. Allein theils waren die Unterſuchungsmethoden nicht genau genug, theils hat man mit zu kleinen Luftportionen operirt. Seit man hierin mit größerer Schärfe und insbeſondere mit größeren Luftmengen arbeitet, hat man ſich überzeugt, daß es kleine Variationen am Sauerſtoffgehalte gebe. (*Löwy* in Compt. rendu. Août 1843. p. 235; Pogg. Ann. 3 391, und Ann. der Chemie und Pharmacie. 40. 230; Roſe's analyt. Chemie. Berlin 1838. 2. 671.)

Berthollet zerlegte die Luft von Paris und Cairo, De Marti die in Catalonien in allen Monaten des Jahres und zu verſchiedenen Stunden des Tages, Berger die zu Genf und in den Schweizergebirgen, Biot auf Formentera und Yviza, Kupffer in Kaſan, Davy die Luft in England und Guinea, Stas die in Brüſſel, Gay-Luſſac die 3383 P. Kl. über der Erde aufgefangene, Vogel die eine halbe Meile vom Lande über dem Meere geſchöpfte, Hermbſtädt die an der Oſtſee, Löwy die über der Nordſee, Derville die in Guadaloupe, Dumas und Bouſſingault die bei heiterem und bei regneriſchem Wetter, Configliachi die über bewäſſerten Reisfeldern, Séguin die Luft in einem vollen Theater, Ed. Davy in einem Hoſpitale; allein überall fand man ſie von völlig gleichem Gehalte an Sauerſtoff und Stickſtoff, nur Löwy's Verſuchsreſultate laſſen das Daſeyn kleiner Variationen des Sauerſtoffgehaltes nicht mehr bezweifeln.

67. Der Kohlenſtoff iſt ein brennbarer, geſchmack- und geruchloſer, unſchmelzbarer Stoff, der ſich weder im Waſſer, noch im Weingeiſte oder in Oehlen auflöſet, und ſelbſt den ſtärkſten Säuren widerſteht; er kommt am reinſten als Diamant vor, in der Pflanzen und Thierkohle iſt er mit mehreren andern Körpern, beſonders in jener mit Waſſerſtoff, in dieſer mit Stickſtoff verbunden. Er iſt ein Beſtandtheil aller organiſchen Körper, iſt aber auch in vielen Mineralkörpern, wie z. B. im Graphit, in der Kohlenblende ꝛc. reichlich enthalten.

68. **Chlor** iſt in der Natur in großer Menge vorhanden, aber niemals in freiem Zuſtande. Durch Kunſt läßt es ſich im reinen Zuſtande als Gas und als tropfbare Flüſſigkeit darſtellen. Man erhält es aus Salzſäure durch Zerlegung derſelben mittelſt Braunſtein, oder durch Behandlung eines Gemenges von Kochſalz und Braunſtein mit Schwefelſäure. Das **Gas** hat eine weingelbe Farbe, einen unangenehmen Geruch, iſt zum Einathmen nicht nur nicht tauglich, ſondern höchſt ſchädlich, und verurſacht Huſten, Schnupfen, Bruſtbeklemmungen, ja ſogar den Tod, es brennt nicht, geſtattet aber andern Körpern, wie z. B. einem Wachslichte, im Brennen fortzufahren, ja einige Körper, wie z. B. Spießglanz, entzünden ſich darin von ſelbſt; es zerſtört alle organiſchen Körper, mit Ausnahme der Kohle, nachdem es dieſelben entfärbt hat, ferner die Miasmen, daher es zum Bleichen und zum Räuchern bei anſteckenden Krankheiten vorzüglich dient. Durch ſtarke Compreſſion wird es tropfbar dargeſtellt, und da bildet es eine ſehr bewegliche, dunkel grünlichgelbliche Flüſſigkeit, welche bei — 15° R. noch nicht gefriert. Leitet man Chlorgas durch Waſſer, ſo wird es von demſelben abſorbirt, und das Waſſer bekommt dann alle Eigenſchaften des Gaſes; es iſt grünlichgelb, riecht nach dem Gaſe, läßt dieſes auch beim Erwärmen entweichen, und wird durch das Licht zerſetzt. Läßt man vom Waſſer viel Chlorgas abſorbiren, ſo ſetzen ſich darin gelbliche Kryſtalle ab, die Chlor in Verbindung mit Waſſer (Chlorhydrat) ſind. Dieſe ſind ſehr flüchtig und laſſen ſich ſublimiren, werden aber auch leicht in Chlorgas und Waſſer zerſetzt.

Um Chlorgas zu bereiten, übergießt man Braunſtein mit dem ſechsfachen Gewichte Salzſäure und erwärmt das Ganze gelinde. Salzſäure und Braunſtein zerlegen ſich gegenſeitig in Waſſer und in eine Verbindung von Chlor und Waſſer. Letztere läßt bei Erwärmung eine Hälfte des Chlors fahren. Mit gleichem Erfolge kann man auch Kochſalz, Braunſtein und Schwefelſäure, der man etwas Waſſer zugeſetzt hat, anwenden; die durch Einwirkung der Schwefelſäure auf das Kochſalz ſich bildende Salzſäure wird ſogleich durch Vermittlung des Braunſteines auf die ſo eben erklärte Weiſe zerlegt. Bringt man Chlorhydrat in eine ſtarke Glasröhre, ſchmilzt ſelbe zu und erwärmt ſie dann bis 38° R., ſo ſchmilzt das Hydrat und trennt ſich in zwei Schichten, wovon die obere aus Waſſer, etwas durch Chlor gefärbt, die untere aus tropfbarem Chlor beſteht. Iſt die Glasröhre knieförmig gebogen, ſo kann man das Chlor durch Deſtillation vom Waſſer trennen. Die Anwendung des Chlors als Bleich- und Luftreinigungsmittel iſt ſehr wichtig.

69. Das **Brom** wurde im Jahre 1826 von **Balard** zuerſt im Waſſer aus dem mittelländiſchen Meere, nachdem das Kochſalz herauskryſtalliſirt war, gefunden, bald darauf aber auch aus dem Waſſer des todten Meeres und aus vielen Salzſoolen und Mineralquellen, ſelbſt aus Seegewächſen und Seethieren (geſalzenen holländiſchen Häringen) ausgeſchieden. Es erſcheint bei der gewöhnlichen Luftwärme als dunkelbraune, in dünnen Schichten hyacinthrothe Flüſſigkeit von äußerſt unangenehmen Geruche (daher ſein Name), verdünſtet ſtark in der Luft, ſiedet ſchon bei 47° C. und friert erſt bei — 18°,

wo es dann als bleigraue, ſpröde, metallglänzende Maſſe erſcheint, iſt im Waſſer, Alkohol und Aether, wohl auch im Baumöhl löslich, ſinkt aber in der Schwefelſäure unverändert unter. Es färbt die Haut vorübergehend dunkelgelb, und bleicht Pflanzenfarben wie das Chlor.

70. Das Jod wurde zuerſt 1812 von Courtois in der Mutterlauge des Seetanges, ſpäter aber in mehreren Seepflanzen, im Kropfſchwamme, ſelbſt in Mineralien und in Quellen (Hall in Oberöſterreich) gefunden. Es iſt eine feſte, dunkelgraue, faſt wie Metall glänzende, leicht zerreibliche Subſtanz, welche die Haut vorübergehend ſchmutzig-gelb färbt, einen unangenehmen, dem Chlor ähnlichen Geſchmack hat, ſtark auf den Organismus wirkt, ſich ſchwer im Waſſer, aber leicht im Weingeiſte auflöſet. Durch Wärme läßt es ſich in ein ſchön violettes Gas verwandeln, welchem Umſtande es ſeinen Namen verdankt.

71. Fluor iſt ein Stoff, der, wenn es ja gelungen iſt, ihn iſolirt zu erhalten, bisher wohl nur von Davy in ſehr geringer Menge dargeſtellt worden ſeyn mag; es ſoll als braune Subſtanz erſchienen ſeyn. Doch iſt an der Exiſtenz des Stoffes nicht zu zweifeln. Er iſt der einzige Körper, von dem man keine Sauerſtoffverbindung mit völliger Beſtimmtheit kennt.

72. Der Schwefel iſt ein blaßgelber, undurchſichtiger, bei geringer Temperatur zerreiblicher, ſchwach ſchmeckender Körper, der in der Luft bei gehöriger Hitze mit einem erſtickenden Geruche und einer bläulichen Flamme verbrennt. Wird er in verſchloſſenen Gefäßen über 111° C. erhitzt, ſo wird er weich und ſchmilzt endlich zu einer gelben, durchſichtigen öhlartigen Flüſſigkeit, die bei 160° anfängt braun und dickflüſſig zu werden, und in Waſſer gegoſſen lange weich bleibt. Er iſt aber in dieſer Form eben ſo gut reiner Schwefel, wie der in Stangen oder Kryſtallen. Bei 316° ſiedet er und gibt einen pomeranzengelben Dampf, der ſich an kältere Körper in feſter Form (Schwefelblumen) anlegt. Der Schwefel iſt im Waſſer gar nicht, im Weingeiſt nur wenig auflöslich; mittelſt Wärme bildet er mit Oehlen die ſogenannten Schwefelbalſame. Er kommt in der Natur gediegen, ſelbſt kryſtalliſirt, häufiger in Verbindung mit Metallen vor, endlich auch in den meiſten organiſchen Körpern, z. B. in den Eiern, im Harn, in der Galle.

73. Selen iſt ein ſpröder, in Maſſe bleigrauer, metalliſch glänzender, gepulvert aber dunkelrother, durchſcheinender, im Waſſer unlöslicher Körper, der bei 100° weich, in höherer Temperatur gar flüſſig wird und ſich beim Erkalten in Fäden ziehen läßt. Es ſiedet vor dem Glühen und gibt dabei einen gelben Dampf, läßt ſich entzünden und verbrennt mit Rettiggeruch und röthlichblauer Flamme. Man erhält das Selen aus dem röthlichen Schlamme, der ſich beim Verbrennen des Schwefels abſetzt, und auch aus einem beſondern Mineral, dem Selenblei. Berzelius hat es im Jahre 1817 entdeckt.

74. Der Phosphor iſt ein wachsgelber, bei niederer Temperatur ſpröder, bei etwas hoher biegſamer, fettig glänzender Körper.

Er leuchtet im Dunkeln, ſchmilzt und entzündet ſich ſehr leicht, darum er beſtändig unter Waſſer aufbewahrt werden muß; darin bedeckt er ſich mit einem weißen Ueberzuge, der mit der Zeit immer dicker wird. Er löſet ſich im Weingeiſte ſchwer, in ätheriſchen Oehlen leicht auf, und gibt dann eine nicht ſo leicht brennbare, aber doch leuchtende Maſſe, die man zu Zündhölzchen oder zu leuchtender Pomade verwenden kann. Er findet ſich in allen drei Naturreichen, in den Getreidekörnern, der Nervenſubſtanz, beſonders aber in thieriſchen Knochen, aus denen er auch meiſtens gewonnen wird.

75. Bor, von Gay-Luſſac und Thénard 1810 zuerſt dargeſtellt, wird durch Zerſetzung der Borſäure mittelſt Kalium erhalten, und erſcheint als undurchſichtiges, dunkelgrünes, ſtark abfärbendes, geruch- und geſchmackloſes Pulver, das ſich, friſch bereitet und bevor es geglüht wird, im Waſſer auflöſet und in der Luft bei der gewöhnlichen Temperatur unverändert bleibt, bei erhöhter Temperatur hingegen mit Funkenſprühen verbrennt. Bor und Sauerſtoff geben die Borſäure; auch mit den andern Stoffen verbindet es ſich.

76. Kieſel (Silicium), im J. 1824 von Berzelius zuerſt rein dargeſtellt, wird aus kieſelflußſaurem Natrum mittelſt Kalium erhalten. Es iſt ein feſter, glanzloſer, dunkelbrauner, ſtark ſchmutzender, unſchmelzbarer Körper, der viel Aehnlichkeit mit Bor hat, und ſich zu ihm wie Selen zu Schwefel oder wie Chlor zu Jod verhält. Kieſel bleibt im Sauerſtoffgas unverändert, nur wenn es kürzlich bereitet und noch nicht in der Luft erhitzt worden iſt, kann es darin durch gelindes Erhitzen zum Verbrennen gebracht werden, wo es die Kieſelſäure gibt; es brennt auch in Chlorgas und bei hoher Temperatur in Schwefeldunſt; mit Salpeter kann man es glühen, ohne es dadurch zu verändern aber mit kohlenſaurem Kali vermengt und dann bis zum Glühen erhitzt, detonirt es. Es geht mit vielen Körpern Verbindungen ein, und liefert Producte, worunter das merkwürdigſte obgenannte Kieſelſäure iſt, die man einſt unter die Erden gezählt und Kieſelerde genannt hat.

77. Die noch erübrigenden Grundſtoffe ſind insgeſammt Metalle. Es hat zwar jedes Metall ſeinen eigenthümlichen Charakter, aber alle zuſammen haben auch ſo viel Gemeinſchaftliches, die metalliſche Natur überhaupt charakteriſirendes, daß es für unſern Zweck genügt, nur dieſe allgemeine Charakteriſtik hier kurz zu entwerfen: Die Metalle unterſcheiden ſich von andern Grundſtoffen durch ihren eigenthümlichen Glanz, ihre Undurchſichtigkeit und Unauflöslichkeit im Waſſer. Sie heißen im reinen Zuſtande Metallkönige oder reguliniſche Metalle. Wenige derſelben kommen in der Natur in dieſem Zuſtande vor, die meiſten finden ſich vererzt (mit Schwefel verbunden), verlarvt (in Verbindung mit anderen Metallen) oder oxydirt. Mehrere Metalle ſind hämmerbar und ſtreckbar, ſie laſſen ſich zu Platten walzen, zu Draht ziehen ꝛc., wie z. B. Gold, Silber, Platin, Kupfer; andere ſind ſpröde, wie Spießglanz, Wismuth;

deßhalb theilte man ſie einſt in ganze (ſtreckbare) und in Halbmetalle ein, ungeachtet ſich zwiſchen beiden keine feſte Grenze angeben läßt und dasſelbe Metall bloß durch mechaniſche Behandlung dehnbar oder ſpröde werden kann, mithin bald in die eine, bald in die andere Claſſe gehören müßte. Alle Metalle ſind ſchmelzbar, jedoch fordert jedes Metall einen eigenen Hitzegrad zum Schmelzen. So iſt das Queckſilber ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme flüſſig, Kalium und Natrium ſind bei derſelben Temperatur weich. Zinn, Blei, Wismuth ſchmelzen im leichten Ofenfeuer, während kaum das ſtärkſte Feuer Eiſen, Uran, Titan, Platin zu ſchmelzen vermag. Kalium, Natrium, Eiſen und Platin werden vor dem Zerfließen weich, können daher geſchweißt werden, andere Metalle bleiben aber hart bis zum Augenblicke des Schmelzens, ja einige, wie z. B. Blei, werden vorher noch härter. Alle Metalle können in Dämpfe verwandelt werden; Queckſilber, Zink, Arſenik verflüchtigen ſich leicht, Gold, Platin erſt bei der größten Hitze, Beim Erkalten kryſtalliſiren alle Metalle unter günſtigen Umſtänden; bei den ſpröden läßt ſich das Kryſtallgefüge am leichteſten erkennen. Die meiſten Metalle laſſen ſich mit einander verbinden und geben Gemiſche, die man Legirungen oder wenn Queckſilber einen Beſtandtheil ausmacht, Amalgame nennt. Dieſe Gemiſche ſind meiſtens härter, elaſtiſcher und minder dehnbar, als die Beſtandmetalle, wie man es am Meſſing (Kupfer und Zink), Kanonengut, Glockengut (Kupfer und Zinn), Packfong (Kupfer, Zink und Nickel) ꝛc. ſieht; ſie ſind leichter ſchmelzbar (leichtflüſſige Miſchungen aus Wismuth, Blei und Zinn), bilden daher für die einfachen Metalle die Lothe und kryſtalliſiren leichter als die einfachen Metalle. Einige Metalle hängen ſchon zuſammen, wenn nur eines davon flüſſig iſt. Darauf beruht das Löthen, Vergolden, Verſilbern ꝛc. Alle Metalle verbinden ſich mit Sauerſtoff, doch herrſcht in Bezug auf die Leichtigkeit, mit welcher dieſes geſchieht und mit welcher ſie wieder in den Metallzuſtand zurückgeführt (reducirt) werden, eine große Verſchiedenheit. Einige laſſen den Sauerſtoff in einer höheren Temperatur in Gasgeſtalt fahren (edle Metalle), andere entwickeln bei beliebiger Temperatur gar keinen Sauerſtoff oder geben dieſen nur zum Theil ab, ſo daß ſie nur durch Glühen mit Kohle, Waſſerſtoff oder andern brennbaren Körpern in Metallzuſtand zurückgeführt werden können, (unedle Metalle). Man kann alle Metalle in leichte und ſchwere eintheilen. Erſtere haben ein ſpecifiſches Gewicht, das 5.000 nicht überſchreitet und eine beſonders große Affinität zum Sauerſtoff, ſo daß mehrere derſelben ſogar bei gewöhnlicher Temperatur das Waſſer zerſetzen. Zu denſelben gehören: Kalium, Natrium, Lithium, Baryum, Strontium und Calcium, Magnium, Cerium, Lanthan, Yttrium, Glycium, Aluminium, Thorium und Zirconium. Die ſchweren Metalle haben ein ſpezifiſches Gewicht von 5.3 bis 22.0. Manche haben zum Sauerſtoff ſogar mehr Affinität als die der erſten Klaſſe, während andere eine nur höchſt geringe Anziehung zu demſelben ausüben.

Gold, Silber, Queckſilber, Kupfer, Eiſen, Zinn, Blei kennt man ſchon ſeit Jahrhunderten, andere, wie Wismuth, Zink, Antimon hat man ſchon vor Langem hinreichend unterſchieden. Von manchem kannte man die Oxyde ſeit Langem, und es gelang erſt in neuerer Zeit die Metalle ſelbſt daraus zu reduciren; nicht wenige aber gehören ganz der neueſten Zeit an. Den Kobalt reducirte Brandt 1733, den Nickel Cronſtedt 1751, das Mangan Gahn 1774, das Tellur Müller von Reichenſtein 1782, das Molybdän Hielm 1782 (aus der 1778 von Scheele entdeckten Molybdänſäure), das Wolfram d'Elhuyart 1785 (aus dem 1781 von Scheele entdeckten Oxyde), das Uran Klaproth 1789, das Titan Gregor 1791, das Chrom Vauquelin 1797, das Tantal Hatchett 1801. Die Begleiter des Platins, das durch Wood im Jahre 1741 nach Europa kam, nämlich das Palladium, Rhodium, Iridium, Osmium wurden, die beiden erſten von Wollaſton 1803 und 1804, die beiden andern von Tennant 1803 entdeckt. Die glänzende Entdeckung der Metalle der Alkalien und alkaliſchen Erden durch Davy 1807 bildet einen beſonderen Abſchnitt in der Geſchichte der Chemie. Funde neuerer Zeit ſind das Lithium durch Arfvedſon 1817, das Cadmium durch Herrmann und Stromeyer 1817, das Yttrium durch Wöhler 1828, das Thorium durch Berzelius 1828, das Vanadin durch Sefſtröm 1830, das Lanthan durch Moſander 1839, welcher bereits 1825 das bis jetzt für einfach gehaltene Cer aus dem 1807 von Klaproth und Berzelius entdeckten Oxyde darſtellte; ferner hat derſelbe Gelehrte auch die Scheidung des Lanthanoxydes vom Ceroxyd zuerſt (im Jahre 1842) bewerkſtelliget, und das Oxyd eines neuen Metalls des Didym, neueſtens endlich jenes des Therbium und Erbium kennen gelehrt.

78. Die meiſten Grundſtoffe haben ein großes Beſtreben, ſich mit einander chemiſch zu verbinden. Daher kommt es, daß nur wenige in der Natur im freien Zuſtande angetroffen werden und man ſie nur durch Kunſt iſolirt darſtellen kann. Einige ſind deßhalb in dieſem Zuſtande nur wenig bekannt und gehören zu den chemiſchen Raritäten; auch kommen nicht alle gleich häufig vor. In reichlicher Menge finden ſich auf der Erde nur Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff, Kohlenſtoff, Schwefel, Kieſel, Chlor, Kalium, Natrium, Calcium, Aluminium, Magneſium, Mangan, Eiſen, Zink, Kupfer, Blei, Zinn.

79. Die Grundſtoffe verbinden ſich auf ſolche Weiſe mit einander, daß ſich ihre weſentlichen Eigenſchaften wechſelſeitig aufheben. Dieſes iſt aber nur möglich, wenn ſich eine beſtimmte Quantität des einen mit einer gewiſſen Quantität des anderen vereinigt. Je wirkſamer ein Stoff iſt, deſto weniger bedarf man davon, um eine gewiſſe Menge eines anderen gleichſam zu vernichten. Von dem chemiſch kräftigſten Stoffe wird man darum auch hiezu die kleinſte Quantität brauchen, während von dem chemiſch ſchwächſten die größte Quantität benöthiget wird. Der kräftigſte Stoff iſt der Waſſerſtoff, der ſchwächſte das Uran. Die Gewichtsmengen, nach denen ſich die Körper chemiſch verbinden, ſtehen demnach mit ihrer chemiſchen Kraft im verkehrten Verhältniſſe. Man kann dieſe Gewichtsmengen durch Zahlen ausdrücken, denen irgend eine beſtimmte Einheit zum Grunde liegt. Als ſolche nehmen einige Chemiker die Gewichtsmenge des Waſſerſtoffes,

als des chemiſch kräftigſten, andere die des Sauerſtoffes als des bei Verbindungen am meiſten vorkommenden an, und drücken die der anderen nach dieſer Einheit gemeſſen aus. Die ſo entſtandenen Zahlen werden Miſchungsgwichte, wohl auch chemiſche Aequivalente oder ſtöchiometriſche Zahlen genannt. Das Volum einer ſolchen Gewichtsmenge heißt Aequivalentenvolum. Wenn man die Gewichtsmenge des Sauerſtoffes zum Vergleichungspuncte nimmt, drückt man ſie zur Vermeidung von Brüchen durch 100 aus; geſchieht es aber mit der Gewichtsmenge des Waſſerſtoffes, ſo gibt man ihr die Zahl 1. Da ſchon 8 013 Theile Waſſerſtoff hinreichen, um die chemiſchen Eigenſchaften von 100 Theilen Sauerſtoff zu vernichten, ſo verhalten ſich die Miſchungsgewichte beider zu einander wie 1 : 12.5 (genau wie 1 : 12.4596) und ſomit erſcheinen die Zahlen für Waſſerſtoff = 1 nahe 12.5 wohl kleiner als jene, die ſich auf den Sauerſtoff = 100 beziehen. Wir werden in der Folge, wenn über die Wahl dieſer Einheit nichts näheres beſtimmt wird, immer den Waſſerſtoff zum Vergleichungspunct nehmen. Hiernach iſt es klar, daß die Ausdrücke: Das Miſchungsgewicht oder Aequivalent des Kohlenſtoffes iſt = 6, des Schwefels = 16 ſo viel heißt als 6 Theile Kohlenſtoff und 16 Theile Schwefel haben einen ſo großen chemiſchen Werth wie 1 Theil Waſſerſtoff oder 8 Theile Sauerſtoff, oder mit 6 Theilen Kohlenſtoff oder mit 16 Theilen Schwefel können ſich von Waſſerſtoff nicht weniger als 1 Theil, von Sauerſtoff nicht weniger als 8 Theile chemiſch verbinden. Es iſt klar, daß, wenn 6 Theile Kohlenſtoff eben ſo viel chemiſche Kraft beſitzen, wie 16 Theile Schwefel, zur Vernichtung der chemiſchen Eigenſchaften von 6 Theilen Kohlenſtoff auch 16 Theile Schwefel genügen müſſen, und daß man die ſtöchiometriſchen Zahlen nur immer von einem Stoffe gegen alle andern zu ſuchen braucht, um ſie für alle Stoffe zu kennen.

80. Die meiſten Stoffe verbinden ſich nicht bloß in einem einzigen, ſondern in mehreren Verhältniſſen mit einander; da iſt aber immer das kleinſte Verhältniß das durch die ſtöchiometriſchen Zahlen angezeigte das größere aber ein Vielfaches deſſelben. So z. B. verbindet ſich der Sauerſtoff = 8 mit Stickſtoff = 14 in fünf verſchiedenen Verhältniſſen, und zwar im geringſten Verhältniſſe 14 Theile Stickſtoff mit 8 Theile: Sauerſtoff, in den folgenden aber in nachſtehenden Gewichtsmengen:

14 Th.	Stickſtoff	mit	28 Th.	= 2 ×	14	Th.	Sauerſtoff.
14 »	»	»	42 »	= 3 ×	14	»	»
14 »	»	»	56 »	= 4 ×	14	»	»
14 »	»	»	70 »	= 5 ×	14	»	»

Bezeichnet man den Stoff, wovon ſich eine beſtimmte Menge mit einem andern in verſchiedenen Verhältniſſen verbindet, durch A, die kleinſte die Verbindung eingehende des zweiten durch B; ſo ſind die Verhältniſſe, in welchen dieſe Stoffe am häufigſten ſich verbinden: A : B, A : 2 B, A : 3 B, A : 5 B, 2 A : 3 B; ſeltener kommen die Verhältniſſe 2 A : B, A : 4 B, A : 7 B, 2 A : 2 B und 2 A : 5 B.

81. Jeder Stoff bewährt auch noch in einer eingegangenen Verbindung ſeine chemiſche Kraft, und ein zuſammengeſetzter Körper hat darum eine Aequivalentenzahl, welche der Summe der Aequivalentenzahlen ſeiner Beſtandtheile gleich kommt, wobei natürlich auf die Anzahl der Miſchungsgewichte, die in einer ſolchen Verbindung von dem einen oder anderen Stoffe vorkommt, die gehörige Rückſicht genommen werden muß. So iſt die ſtöchiometriſche Zahl des Waſſers, welches aus 1 Aequivalent Sauerſtoff $= 8$ und 1 Aequivalent Waſſerſtoff $= 1$ beſteht, gleich $8 + 1 = 9$ Die ſtöchiometriſche Zahl des Kupferoxydes, das aus 1 Aequivalent Kupfer $= 31.7$ und 1 Aequivalent Sauerſtoff $= 8$ beſteht, iſt $= 31.7 + 8 = 39.7$; jene der Schwefelſäure, die aus 1 Aequivalent Schwefel $= 16$ und 3 Aequivalenten Sauerſtoff $= 8$ beſteht, iſt $16 + 3 \times 8 = 40$. Der Kupfervitriol beſteht aus 1 Aequivalent Kupferoxyd, 1 Aequivalent Schwefelſäure und 4 Aequivalenten Waſſer; ſeine ſtöchiometriſche Zahl iſt demnach $40 + 39.7 + 36 = 115.7$.

82. Die Volume der ſich chemiſch verbindenden Stoffe ſtehen unter ſich und zu dem Volum ihrer chemiſchen Verbindung in ſehr merkwürdigen Relationen, und zwar ſind dieſe verſchieden nach Verſchiedenheit der Aggregationszuſtände der chemiſchen Producte und ihrer Beſtandtheile. Verbinden ſich Stoffe in Gasform zu einem gasförmigen Producte und werden die Gaſe bei gleicher Spannkraft und gleicher Temperatur betrachtet, ſo ſind die Volume der ſich verbindenden Stoffe entweder einander gleich oder es iſt eines das Doppelte, Dreifache ꝛc. des anderen; ferner iſt das Volum der chemiſchen Verbindung entweder gleich der ganzen oder der halben, oder Zweidrittel der Summe der Volume der Beſtandtheile. Sind nämlich v und v' die Rauminhalte der Beſtandtheile, V jener des Productes, ſo hat man: $v' = v$ oder $v' = 2v$ oder $v' = 3v$ u. ſ. w.; ferner $V = v + v'$ oder $V = \frac{1}{2}(v + v') = (v + v') - \frac{1}{2}(v + v')$ oder $V = \frac{2}{3}(v + v') = (v + v') - \frac{1}{3}(v + v')$ u. ſ. f. Den ſubtractiven Theil nennt man die Condenſation. Dieſes Geſetz hat Gay-Luſſac zuerſt wahrgenommen. Für tropfbare und feſte Körper hat man erſt in der neueſten Zeit beſtimmte Beziehungen dieſer Art wahrgenommen, ſie ſtellen ſich aber nur einfach dar, wenn man ſie auf Aequivalentenvolume bezieht und zwar wieder nur auf ſolche, die zu entſprechenden Wärmezuſtänden gehören. Solche Zuſtände ſind bezüglich der feſten Körper ſolche Temperaturen, welche von der Schmelzhitze entſprechend abſtehen und bezüglich der Tropfbaren ſolche, bei denen die Dünſte gleiche Spannkräfte haben. Nach Schröder ſollen die Aequivalenten-Volume tropfbarer Flüſſigkeiten bei entſprechenden Wärmezuſtänden im Verhältniß ganzer Zahlen ſtehen, und wenn ſich flüſſige Stoffe mit einander verbinden, die dabei eintretende Condenſation im Verhältniſſe ganzer Zahlen zu dem Volume der Beſtandtheile vor ſich gehen. Iſt demnach v das Aequivalentenvolum eines tropfbaren Körpers, ſo hat man dafür $v = m\varphi$, wobei m eine ganze, nur von der Natur der Flüſſigkeit abhängige, φ aber eine für alle

Flüſſigkeiten gleiche, nur mit der Temperatur wechſelnde Zahl bedeudet. Bei feſten Körpern ſtehen ſowohl die Aequivalentenvolume als die bei ihrer Verbindung eintretenden Condenſationen im Verhältniſſe ganzer Zahlen. Der Ausdruck $v = m\,\varphi$ gilt auch für dieſe Form und es iſt für entſprechende Wärmezuſtände m eine von der Natur des Stoffes abhängige, φ aber eine nur mit der Temperatur wechſelnde ſonſt für alle feſten Körper gleiche Zahl. Die Condenſation bei der Verbindung läßt ſich durch $n\,\varphi$ ausdrücken, wo n wieder eine ganze Zahl bedeutet, ſo daß man demnach für das Volum V des zuſammengeſetzten Körpers hat $V = m\,\varphi + m'\,\varphi + \ldots - n\,\varphi$. Für Verbindungen, von welchen ein und derſelbe Grundſtoff ein Beſtandtheil iſt, ſoll die Condenſation nach Vielfachen der Zahl 4 wechſeln. Dieſe letzteren Geſetze bedürfen allerdings noch einer weiteren Prüfung, doch iſt es keinem Zweifel unterworfen, daß beſtimmte Relationen zwiſchen den Aequivalentenvolumen der Beſtandtheile unter ſich und zu denen des Productes Statt finden. (Die Molecularvolume der chemiſchen Verbindungen von H. Schröder, Mannheim 1843. Kopp in Pogg. Ann. 47, 133; 52, 243.)

1 Volum Stickgas verbindet ſich mit 1 Vol. Sauerſtoffgas zu 2 Vol. Stickſtoffoxydulgas; 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas geben 2 Vol. Stickſtoffoxydulgas; 1 Vol. Stickgas und 3 Vol. Waſſerſtoffgas geben 2 Vol Ammoniakgas. Waſſer, Aether. Alkohol und Schwefelkohlenſtoff geben nach der Ordnung bei 100°, 35°.66, 7°.41 und 46° 60 C. Dünſte von gleicher Spannkraft, haben alſo bei dieſen Temperaturen gleiche Wärmezuſtände. Die Aequivalentenvolume ſind: Für Waſſer 117.1 = 3 × 39.03. für Aether 663 3 = 17 × 39 03, für Alkohol 780 0 = 20 × 39 00, für Schwefelkohlenſtoff 390 9 = 10 × 39.09. Bei Temperaturen, die der Waſſertemperatur von 81°.7 entſprechen, geht der Factor 39.00 in 38 1 über. Das Aequivalentvolum für Baryt iſt 200, für Kupferoxyd = 76, für Zinnober (Schwefelqueckſilber) = 180, für Schwefeleiſen = 146, die Summe der Beſtandtheile dieſer Körper iſt in der angeführten Ordnung 144 + 64 = 208: 44 + 64 = 108: 88 + 100 = 188; 44 + 200 = 244 und die Condenſationen ſind 8, 32, 8, 96, lauter Vielfache von 4.

83. Die Geſetze der chemiſchen Verbindungen, von denen bisher die Rede war, ſind durchgehends durch Thatſachen beſtätiget und enthalten nichts hypothetiſches; die Entdeckung der Thatſachen, wurde aber durch die atomiſtiſche Vorſtellungsweiſe über die Conſtitution der Körper bedeutend gefördert. Nach dieſer Anſicht entſteht die gegenſeitige Veränderung der Körper, die ſich mit einander chemiſch verbinden, nicht aus einer Durchdringung der Materie, ſondern aus einer Juxtapoſition der Atome ihrer einfachen Beſtandtheile und aus der Bildung zuſammengeſetzter Atome. Alle Arten von Verbindungen und Zerſetzungen gehen demnach durch Nebeneinanderlagern, Trennung und Austauſch von Atomen vor ſich; das Geſetz der Vereinigung in beſtimmten Gewichtsmengen und in Vielfachen derſelben iſt das der Vereinigung einer beſtimmten Anzahl von Atomen. Der chemiſche Werth eines Stoffes iſt natürlich die Summe der chemiſchen Werthe ſeiner

Atome. Nimmt man nun an, daß ſich bei der niederſten Verbindungsſtufe zweier Stoffe ein Atom des einen mit einem Atom des andern verbinde, ſo ſtellen die Miſchungsverhältniſſe zugleich die chemiſchen Werthe der Atome vor; wird endlich der chemiſche Werth eines Atoms bloß von ſeinem Gewichte abhängig gedacht, ſo ſtellen die Aequivalentenzahlen zugleich die Atomengewichte vor. Man ſieht, wie viel Hypothetiſches in dieſen Annahmen liege. Eine dieſer Vorausſetzungen iſt wenigſtens nicht immer zuläſſig, nämlich die, daß in der niederſten Verbindungsſtufe immer nur 1 Atom des einen Stoffes mit 1 Atom des anderen vereinigt ſey. Bekanntlich verbinden ſich 2 Volume Waſſerſtoff mit 1 Volum Sauerſtoff zu Waſſer und dieſes iſt zugleich die niedrigſte Verbindungsſtufe dieſer zwei Stoffe; es ſollen alſo in 2 Vol. Waſſerſtoff eben ſo viele Atome enthalten ſeyn, wie in 1 Vol. Sauerſtoff. Allein andere Thatſachen rechtfertigen die Annahme, daß in gleichen Gasvolumen gleich viele Atome, mithin in 2 Volumen Waſſerſtoff doppelt ſo viel Atome enthalten ſind, als in 1 Vol. Sauerſtoff. Es bleibt daher nichts übrig, als das Waſſer aus 2 Atomen Waſſerſtoff und 1 Atom Sauerſtoff zuſammengeſetzt anzunehmen und ſomit auch das Atomgewicht des erſtern ſeinem halben Aequivalente gleich zu ſetzen. Man hat Grund anzunehmen, die Atomengewichte der Gaſe verhalten ſich wie ihre ſpec. Gewichte. Nun verhält ſich aber das ſpec. Gewicht des Sauerſtoffgaſes zu dem des Chlor wie 100:221 und daher, da 100 das Atomengewicht des Sauerſtoffes iſt, ſoll 221 das Atomengewicht des Chlor ſeyn. Aber Chlor und Kalium vereinigen ſich in dem Verhältniſſe 489.9 zu 442.6 und da 489.9 das Atomengewicht des Kalium iſt, 1 At. Kalium mit 2 At. Chlor, und doch iſt dieſes die einzige Verbindungsſtufe. Solche zuſammengehörige Atome nennt man Doppelatome. Auf ähnliche Weiſe wird man dahin gebracht, das Atomengewicht des Stickſtoffes, Jods, Broms und Fluors nur halb ſo groß, als deren Aequivalentengewicht anzunehmen. Die geſammte Lehre von den Atomengewichten und Aequivalenten nennt man Stöchiometrie.

Die Stöchiometrie iſt eine der neueren Acquiſitionen der Chemie; die erſte Spur ihrer Begründung geht nicht über das Jahr 1777 hinaus, zu welcher Zeit Wenzel, ein deutſcher Chemiker, auf die beſtimmten Verhältniſſe der ſich verbindenden Körper aufmerkſam gemacht und geſucht zu haben ſcheint, ſie durch Verſuche zu begründen; doch erſt Richter hat ſich im Jahre 1796 darüber beſtimmt ausgeſprochen und ſie aus des erſteren Verſuchen nachgewieſen. Er fand aber bei ſeinen Zeitgenoſſen wenig Eingang, theils weil ſeine eigenen Verſuche wenig Genauigkeit beſaßen, theils weil Lavoiſier's damals neue Schöpfung im Gebiete der Chemie die Aufmerkſamkeit der ganzen gelehrten Welt in Anſpruch genommen hatte, und ſo blieb die Sache auf ſich ſelbſt beruhen, bis Prouſt (1804) die Verbindung der Metalle mit Sauerſtoff und Schwefel in beſtimmten Verhältniſſen gegen Berthollet's Behauptungen in Schutz nahm. Während des hierüber zwiſchen beiden mit vieler Mäßigung und tiefer Gründlichkeit geführten Streites machte Gay-Luſſac die wichtige Entdeckung, daß ſich Gaſe ſtets in ſehr einfachen Raumverhältniſſen mit einander verbinden,

ein Verhalten, das ſchon früher Dalton, der Gründer der neueren Atomiſtik, gemuthmaßt hatte. Endlich hat der große Chemiſt Berzelius ſeine Aufmerkſamkeit auf dieſen Gegenſtand gerichtet, und ihn durch höchſt genaue und ſinnreiche Verſuche ſo feſt begründet, daß alle Zweifel darüber verſtummen mußten. (Wenzel, Lehre von der Verwandtſchaft, Dresden 1777; Richter über die neueren Gegenſtände der Chemie, Berlin 1796—1798; Prouſt in Gilbert's Annalen, 25, 266; Gay-Luſſac ebend. 36, 5. Die Philoſophie der Chemie von Dumas, Berlin 1839 Lehrbuch der Stöchiometrie von Rammelsberg, Berlin 1842.)

84 Um die Beſtandtheile der Stoffe und deren Verbindungsweiſe möglichſt kurz anzeigen zu können, hat man eine eigene chemiſche Zeichenſprache eingeführt, nach welcher jeder Grundſtoff mit dem Anfangsbuchſtaben ſeines lateiniſchen Namens, und daher Sauerſtoff (Oxygenium) mit O, Phosphor mit P ꝛc. bezeichnet wird; nur wo eine Zweideutigkeit zu vermeiden iſt, ſetzt man zu dieſem noch den nächſten charakteriſtiſchen Buchſtaben des Namens. Daher bedeutet Fe Eiſen (Ferrum), Sb Antimon (Stibium), um erſteres vom Fluor F, letzteres vom Schwefel S, vom Zinn Sn (Stannum), vom Kieſel Si (Silicium) ꝛc. zu unterſcheiden. Selbſt manche zuſammengeſetzte Stoffe, die ſich den einfachen analog verhalten, werden durch eigene Zeichen angedeutet, z. B. Cyan durch Cy, Benzoyl durch Bz, Aethyl durch Ae. Dieſe Zeichen bedeuten zugleich Atomgewichte, wenn dieſe und die Aequivalente gleich angenommen werden. Da, wo das Atomgewicht nur halb ſo groß iſt, als die Aequivalentenzahl, und letztere demnach ein Doppelatom bezeichnet, wird es durch das Zeichen des Atomes, welches in der niederen Hälfte mit einem Strich durchgezogen iſt, anzeigt. So iſt Ħ, das Doppelatome des Waſſerſtoffes. Unmittelbare Verbindungen der Grundſtoffe werden durch unmittelbares Zuſammenſtellen der Zeichen ihrer Beſtandtheile angedeutet, wobei man, wenn in einer Verbindung von einem Beſtandtheile mehrere Atome vorkommen, ihre Anzahl durch einen Exponenten, oder wie man es gegenwärtig faſt durchgehends in den beſten chemiſchen Werken thut, durch eine dem Zeichen des einfachen Stoffes unten angehängte Zahl anzeigt. Bei Verbindungen zuſammengeſetzter Stoffe werden die nächſten Beſtandtheile durch das Zeichen + zu einem Ganzen verbunden, und dem Zeichen eines zuſammengeſetzten Beſtandtheiles, wovon mehr als ein Atom in die Verbindung eingeht, ein Coefficient, der die Anzahl der Atome angibt, vorgeſetzt. So bedeutet KO eine Verbindung von 1 Atom Kalium mit 1 Atom Sauerſtoff, H_2O oder ĦO Waſſer, d. i. eine Verbindung von 2 Atomen Waſſerſtoff mit 1 Atom Sauerſtoff, SO_3 Schwefelſäure (waſſerfreie), d. i die Verbindung von 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerſtoff; dagegen zeigt $SO_2 + H_2O$ engliſche Schwefelſäure an, welche aus 1 Atom Schwefelſäure und 1 Atom Waſſer beſteht, $CaO + SO_3 + 2\,H_2O$ kryſtalliſirten Gips, d. i. 1 Atom ſchwefelſauren Kalk mit 2 Atomen Waſſer verbunden. Waſſer wird oft durch aq angedeutet.

Um die Länge der Formeln, vornehmlich jener für complicirte Zuſammenſetzungen zu vermindern, bezeichnet Berzelius die Sauerſtoff-Atome ihres häufigen Vorkommens wegen durch Puncte, die Schwefel-Atome durch Accente, welche über das Zeichen des einfachen Stoffes, mit welchem der Sauerſtoff oder Schwefel verbunden iſt, geſetzt werden. Organiſche Säuren deutet er durch den Anfangsbuchſtaben ihres lateiniſchen Namens mit einem darüber geſetzten Querſtriche an.

So bedeutet nach dieſer kürzeren Bezeichnung $\dot{K}$ Kaliumoxyd, $\dot{H}$ Waſſer, $\dddot{S}$ waſſerfreie Schwefelſäure, $\dddot{S}\dot{H}$ engliſche Schwefelſäure, $\bar{A}$ Eſſigſäure (Acidum aceticum) u ſ. w.

85. Folgende Tabelle enthält die für die Grundſtoffe angeführten Zeichen, nebſt ihren Aequivalentengewichten ſowohl für Sauerſtoff =100, als für Waſſerſtoff =1, endlich die Atomengewichte nach Berzelius und die Aequivalentenvolume nach Schröder. Wo erſtere nicht als genaue Vielfache der Aequivalentengewichte aufgeführt ſind, rührt die Abweichung von einer Abrundung der Zahlen her, die man ſich bei den Aequivalenten erlaubt hat.

Name.	Zeichen	Aequivalente für Sauerſtoff =100.	Aequivalente für Waſſerſtoff =1.	Atomengewicht.	Aequivalentenvolum.
Aluminium . . .	Al	171.2	13.7	171.167	60
Antimon	Sb	1612.9	129.2	806.452	120
Arſenik	As	940.1	75.3	470.042	156
Baryum	Ba	856.9	68.7	856.880	144
Beryllium	Be	331.5	26.4	331.479	
Blei	Pb	1294.5	103.7	1294.498	112
Bor	B	136.0	10.9	135.983	
Brom	Br	978.3	78.4	489.150	368
Cadmium	Cd	696.8	55.8	696.767	80
Calcium	Ca	256.0	20.5	256.019	56
Cer	Ce	—	—	?	—
Chlor	Cl	442.6	35.5	221.325	240
Chrom	Cr	351.8	28.2	351.819	72
Didym	D	—	—	—	—
Eiſen	Fe	339.2	27.3	339.213	44
Fluor	F	233.8	18.7	116.900	4
Gold	Au	2486.0	199.2	1243.013	64
Jod	J	1578.3	126.6	789.145	424
Iridium	Ir	1233.3	98.8	1233.260	52
Kalium	K	489.9	39.3	489.916	240
Kieſel	Si	277.5	22.3	277.478	

Name.	Zeichen	Aequivalente für Sauerſtoff =100.	Aequivalente für Waſſerſtoff =1.	Atomengewicht.	Aequivalentenvolum.
Kobalt	Co	369.0	29.6	368.991	44
Kohlenſtoff	C	76.4	6.1	76.437	36
Kupfer	Cu	395.7	31.7	395.695	44
Lanthan	La	—	—	?	—
Lithium	L	80.4	6.4	80.375	
Magneſium	Mg	158.3	12.7	158.353	56
Mangan	Mn	345.9	27.7	345.900	44
Molybdän	Mo	598.5	48.0	598.525	68
Natrium	Na	290.9	23.3	290.897	128
Nickel	Ni	369.7	29.6	369.675	44
Osmium	Os	1244.2	99.6	1244.210	64
Palladium	Pd	665.8	53.4	665.840	52
Phosphor	P	392.3	31.5	196.155	220
Platin	Pt	1233.3	98.8	1233.260	52
Queckſilber	Hg	1265.8	101.4	1265.822	89
Rhodium	Rh	651.4	52.2	651.400	56
Sauerſtoff	O	100	8.0	100.	64
Schwefel	S	201.2	16.1	201.165	100
Selen	Se	494.6	39.6	494.582	112
Silber	Ag	1351.6	108.3	1351.607	128
Stickſtoff	N	177.0	14.2	88.518	
Strontium	Sr	547.3	43.8	547.285	104
Tantal	Ta	1153.7	92.4	1153.715	
Tellur	Te	802.1	64.2	802.121	128
Thorium	Th	744.9	59.6	744.900	
Titan	Ti	303.1	24.3	303.086	56
Uran	U	2711.4	217.3	2711.360	
Vanadin	V	855.8	68.6	655.840	
Waſſerſtoff	H	12.5	1	6.2398	
Wismuth	Bi	886.9	71.1	886.918	128
Wolfram	W	1183.2	94.8	1183.200	68
Yttrium	Y	401.8	32.2	401.840	
Zink	Zn	403.2	32.3	403.226	56
Zinn	Sn	735.3	58.9	735.294	100
Zirconium	Zc	420.2	33.7	420.238	

Dividirt man das Aequivalentengewicht durch das ſpezifiſche Gewicht des betreffenden Stoffes, ſo erhält man als Quotienten das Volum eines Aequivalents. Dieſer Zahl liegt jenes Volum als Einheit zum Grunde, das dem Körper, auf welchen ſich die ſpezifiſchen

Gewichte beziehen, unter dem Volum = 1 zukommt. So z. B. iſt das Volum eines Aequivalents Zinnober, deſſen Aequivalentengewicht = 1467, deſſen ſpezifiſches Gewicht = 8.124 iſt, gleich $\frac{1467}{8.124} = 180$, d. h. es enthält 180 mal jenes Volum, das einem Waſſerkörper vom Gewichte = 1 zukommt. Bedient man ſich der metriſchen Maße und Gewichte, wo 1 Kubikcentimeter Waſſer 1 Gramm wiegt; ſo werden die Volume der Aequivalente durch Kubikcentimeter ausgedrückt. Es iſt einleuchtend, daß für dieſe Zahlen die Benennung Aequivalentenvolum am beſten paßt, weil nur dieſe das ausdrückt, was man eigentlich ſagen will, während andere in Vorſchlag gebrachte Benennungen, wie z. B. Molecularvolume, Atomenvolume auf Hypotheſen beruhen und leicht irre führen können.

86. Die Chemiſchen Verbindungen, welche die Grundſtoffe bilden, zerfallen in zwei Arten, in organiſche und unorganiſche. Erſtere erzeugen ſich in der ſogenannten lebloſen Natur und laſſen ſich meiſtens auch künſtlich hervorbringen, wie z. B. Kochſalz, Glas. Zur Erzeugung ſolcher ſind alle Grundſtoffe tauglich. Letztere hingegen bilden ſich faſt ausſchließlich in Pflanzen und Thieren, und nur einige derſelben kann die Kunſt hervorbringen, häufig aber eine in die andere verwandeln. Von dieſer Art ſind Zucker, Harze, Holzfaſern, Fett. Ihre Hauptbeſtandtheile ſind Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Kohlenſtoff und Stickſtoff. Beide Arten Verbindungen laſſen ſich wieder nach der Abſtufung ihrer Zuſammenſetzung eintheilen. Solche, die unmittelbar aus der Vereinigung von Grundſtoffen hervorgehen, nennt man Verbindungen der erſten Ordnung. Die chemiſche Vereinigung einer Verbindung der erſten Ordnung mit einer andern oder mit einem Grundſtoffe heißt Verbindung der zweiten Ordnung; die einer ſolchen mit einer Verbindung der erſten oder zweiten Ordnung, Verbindung der dritten Ordnung u. ſ. w. Es ſcheinen nur Verbindunden bis einſchlüſſig zu der fünften Ordnung in der Natur vorzukommen.

87. Unter den Verbindungen der erſten Ordnung ſpielen die des Sauerſtoffes, alſo die der oxydirten Stoffe eine hervorſtechende Rolle, indem ihnen dieſer Stoff einen eigenthümlichen Charakter einprägt. Sie zerfallen in vier Gruppen, in ſaure Oxyde oder Säuren, in baſiſche Oxyde oder Baſen, in Suboxyde und in Superoxyde. Die Säuren und Baſen, zwiſchen welchen ein bloß relativer Unterſchied beſteht, verbinden ſich unter einander zu Salzen. Ein Oxyd, das erſt noch Sauerſtoff aufnehmen muß, um als Baſis auftreten zu können, heißt Suboxyd; jenes, welches aber zum Behufe ſeiner Verbindung mit einer Säure Sauerſtoff fahren läßt, wird Superoxyd genannt. Gibt es von einem Stoffe mehrere baſiſche Oxyde, ſo heißt das mit der geringſten Sauerſtoffmenge Oxydul, das mit der größeren Oxyd in engerer Bedeutung. Eben ſo unterſcheidet man zwei Suboxyde oder zwei Superoxyde desſelben Stoffes durch die Benennungen Suboxydul und Sub-

oxyd, oder Superoxydul und Superoxyd. Der Sauerſtoff kann in den Verbindungen der erſten Ordnung auch durch andere einfache Stoffe, durch Chlor, Brom, Jod, Fluor, Schwefel, Selen, Phosphor vertreten werden. Man bezeichnet die auf ſolche Weiſe entſtehenden Verbindungen erſter Ordnung jenen des Sauerſtoffes analog durch die Benennungen: Chloride, Bromide, Jodide, Fluoride, Sulphuride ꝛc. Einige Chemiker rechnen ſie auch zu den Salzen und nennen ſie nach Berzelius Vorgange Haloidſalze, zum Unterſchiede von den Amphidſalzen, welche Verbindungen einer höheren Ordnung angehören. Da, wo es zwiſchen einem ſolchen Salzbilder (Haloid) und einem andern Grundſtoff nur eine Verbindung gibt, bezeichnet man ſie dadurch, daß man die Namen der beiden Beſtandtheile an einander fügt, wie z. B. Chlorkalium, Jodſtickſtoff; wo aber zwei oder mehrere ſolcher Verbindungen exiſtiren, heißt die mit der geringeren Menge Chlor, Brom, Jod ꝛc., Chlorür, Bromür, Jodür ꝛc., und die mit der größten Chlorid, Bromid, Jodid ꝛc. Nicht ſelten ſetzt man der aus den Namen beider Beſtandtheile gebildeten Benennung der Verbindung noch die Bezeichnung einfach, anderthalb (sesqui), doppelt u. ſ. w. vor, um dadurch anzuzeigen, daß in dieſer Verbindung ein einfaches, $1^1/_2$faches, 2faches Quantum Chlor, Brom, Jod ꝛc. enthalten ſey. Uebrigens werden viele hierher gehörende Verbindungen mit Trivialnamen belegt, und man ſagt lieber Kochſalz ſtatt Natriumchlorid oder Chlornatrium, ſo wie man auch bei Oxyden den kurzen Namen Waſſer ſtatt Waſſerſtoffoxyd, Kali ſtatt Kaliumoxyd u. dgl. gebraucht. Gleichwie man ſaure und baſiſche Oxyde als Beſtandtheile der Sauerſtoffſalze unterſcheidet, eben ſo laſſen ſich binäre Verbindungen, worin Haloide vorkommen, bezüglich ihres Antheiles an einer Verbindung der zweiten Ordnung, in dieſe zwei Claſſen bringen. Jene Verbindungen überhaupt, deren ſaure oder baſiſche Natur nicht ſcharf ausgeſprochen iſt, und die ſich daher bald als Baſen, bald als Säuren zeigen, hat man ſonſt indifferente Stoffe genannt.

88. Säure iſt der Wortbedeutung nach ein ſauer ſchmeckender Stoff. Seit langem bemerkte man die unverkennbare Aehnlichkeit unter den ſauer ſchmeckenden Stoffen in ihrem chemiſchen Verhalten, beſonders in Bezug auf die Fähigkeit, mit den geeigneten Subſtanzen ſalzartige Verbindungen zu liefern. Man faßte daher dieſelben unter der Benennung »Säuren« in eine eigene Claſſe, gleichſam in eine natürliche Gruppe zuſammen. Da aber ſauer ſchmeckende Körper zugleich blaue Pflanzenſäfte, als Veilchenſyrup, Kohltinctur, Lackmusauflöſung u. a. m. röthen, und zwar ſelbſt dann noch, wenn ſie durch Waſſer ſo ſehr verdünnt ſind, daß ſie den Geſchmackſinn nicht mehr zu afficiren vermögen; ſo hielt man jene Wirkung für geeigneter zu einem charakteriſtiſchen Kennzeichen, und betrachtete alles als Säure, was dieſe Farbenänderung hervorbringt, wenn es auch nicht ſauer ſchmeckt, wie z. B. die Blauſäure, die Schwefelwaſſerſtoffſäure. Allein damit ein Körper dieſe Farbenänderung hervorbringen könne, muß er im

Waſſer löslich ſeyn, und doch gibt es viele Körper, die mit den Lackmus, Veilchenſyrup ꝛc. röthenden in allen, ihre chemiſche Natur charakteriſirenden Eigenſchaften übereinſtimmen und daher mit denſelben in eine Claſſe gezählt werden müſſen, ohne im Waſſer auflöslich zu ſeyn, wie z. B. die Kieſelſäure; darum nennt man heut zu Tage alle jene Körper Säuren, die in ihrem chemiſchen Verhalten mit den gewiſſe Pflanzenfarben röthenden übereinſtimmen. Dieſem Verhalten gemäß, iſt ein Körper nicht an und für ſich, ſondern bloß im Verhältniſſe zu anderen eine Säure. Um hierüber in's Reine zu kommen, muß man von jenen Stoffen ausgehen, die ſich ſo entſchieden als Säuren beurkunden, daß über ihre Beſchaffenheit kein Zweifel obwaltet, als: Schwefelſäure, Salpeterſäure u. dgl. Wird nun eine Verbindung zweiter Ordnung durch irgend eine ſolche Säure zerlegt, indem ſich dieſe mit einem der beiden Beſtandtheile verbindet und den andern austreibt; ſo iſt der vertriebene hinſichtlich des feſtgehaltenen als Säure, der letztere hinſichtlich des erſteren als Baſis zu betrachten. Die Erfahrung beſtätiget die Richtigkeit dieſes Verfahrens dadurch, daß wenn A gegen B, und B gegen C als Säure erſcheint, in keinem Falle A gegen C als Baſis, ſondern immer als Säure gefunden wird, ſo daß ſich aus den unterſuchten Stoffen eine Reihe bilden läßt, in der ſich jedes vorangehende Glied gegen jedes nachfolgende als Säure, jedes nachfolgende gegen jedes vorangehende als Baſis verhält.

89. Jede Säure beſteht aus dem Radical und dem ſäuernden Princip; nach der gewöhnlichen Vorſtellungsweiſe iſt letzteres in der Regel entweder Sauerſtoff, der von dieſer Function ſogar den Namen trägt; es können aber auch andere Grundſtoffe die Rolle des ſäuernden Princips übernehmen, z. B. Schwefel Man unterſcheidet ſonach Sauerſtoffſäuren, Waſſerſtoffſäuren, Sulfoſäuren (Sulfide) u. ſ. w. Bei den Waſſerſtoff- und Sulfoſäuren ſehen einige auch den Waſſerſtoff oder Schwefel als das ſäuernde Princip an, doch ſcheint dieſes nicht in jeder Beziehung conſequent zu ſeyn.

90. Man benennt die Säuren in der Regel nach ihren Beſtandtheilen, und zwar, wenn ſie Sauerſtoffſäuren ſind, bloß nach dem Radicale, indem man demſelben das Wort Säure nachſetzt; ſind ſie Waſſerſtoffſäuren, ſo ſetzt man dem Radicale entweder die Sylbe Hydro (bei Sulfiden die Sylbe Sulfo) vor, oder das Wort Waſſerſtoffſäure nach. So heißt die aus Jod und Sauerſtoff beſtehende Säure Jodſäure, eine aus Chlor und Sauerſtoff zuſammengeſetzte Chlorſäure; aber die aus Jod und Waſſerſtoff gebildete Säure wird entweder Hydrojodſäure oder Jodwaſſerſtoffſäure, die aus Chlor und Waſſerſtoff gebildete entweder Hydrochlorſäure oder Chlorwaſſerſtoffſäure genannt. Verbindet ſich ein Radical in mehreren Verhältniſſen mit Sauerſtoff, ſo wird die den meiſten Sauerſtoff enthaltende ſaure Verbindung nach der vorhergehenden Regel, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge durch das Radical, als

Adjectiv gebraucht, mit Beifügung der Sylbe ig benannt. So heißt z. B. die aus Chlor mit der größeren Sauerſtoffmenge beſtehende Säure, Chlorſäure, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge, chlorige Säure. Kennt man von einem Stoffe mehr als zwei Säuren, ſo bezeichnet man die Rangordnung der übrigen dadurch, daß man den auf die vorerwähnte Weiſe gebildeten Bezeichnungen die Sylbe Ueber, Unter oder Nieder vorſetzt. So gibt es ſechs aus Schwefel und Sauerſtoff beſtehende Säuren, die ihrem Range nach ſo auf einander folgen: Schwefelſäure, Unterſchwefelſäure, ſchwefelige Säure, Niederſchwefelſäure, unterſchwefelige, niederſchwefelige Säure. Die Säuren des Chlors heißen nach dem Grade ihrer Oxydation: Ueberchlorſäure, Chlorſäure, chlorige Säure ꝛc. Man ſucht die Benennungen immer ſo zu wählen, daß der Name einer bereits bekannten und benannten Säure durch eine neu entdeckte nicht geändert zu werden braucht. Dieſes wird aber nach der üblichen Methode der Namengebung ſchon ziemlich ſchwierig, und es dürfte die Zeit nicht mehr ferne ſeyn, wo man dieſe Methode ganz aufzugeben und ein anderes Princip der Namengebung einzuführen gezwungen ſeyn wird. Sehr geeignet ſcheint hiezu die atomiſtiſche Zuſammenſetzung der Säuren zu ſeyn, wie dieſes ſchon bei den Schwefelſäuren Berzelius angedeutet hat. Es zerfallen nämlich dieſe Säuren in ſolche, wo 1 At., und in andere, wo 2, 3 und 4 At. Schwefel mit Sauerſtoff verbunden vorkommen. Die 1 At. enthaltenden ſind die Schwefelſäure SO_3 und die ſchwefelige Säure SO_2, 2 At. Schwefel enthalten die Unterſchwefelſäure S_2O_8, die niederſchwefelige Säure S_2O_2, darum nennt Berzelius erſtere Dithionſäure, letztere dithioniſche Säure; ferner iſt die Niederſchwefelſäure aus 3 At. Schwefel und 4 At. Sauerſtoff zuſammengeſetzt, ihre Formel iſt S_3O_5 und ſie kann Trithionſäure genannt werden; endlich kann die 4 At. Schwefel enthaltende niederſchwefelige Säure S_4O_5 Tetrathionſäure heißen. Die trivialen Benennungen mancher oft vorkommenden Säuren ſind von ihrem Gebrauche, von dem Stoffe, aus dem ſie erzeugt werden ꝛc. hergenommen. So z. B. nennt man die verdünnte Stickſtoffſäure Scheidewaſſer, weil ſie zum Scheiden des Goldes, welches ſich nicht darin auflöſt, von anderen Metallen gebraucht wird, oder Salpeterſäure, weil ſie aus Salpeter gewonnen wird; die meiſtens aus Kochſalz bereitete Hydrochlorſäure heißt Salzſäure ꝛc.

91. Alle nicht metalliſchen Grundſtoffe liefern Säuren, mit Ausnahme des Sauerſtoffes und Waſſerſtoffes. Unter den metalliſchen geben folgende entſchiedene Säuren: Arſen, Tellur, Antimon, Tantal, Titan, Wolfram, Molydän, Mangan, Vanadin, Chrom, Eiſen. Es wird genug ſeyn, hier nur einige der intereſſanteſten ſpeciell zu beſprechen.

Die Salpeterſäure oder vielmehr deren Hydrat $N_2O_5 + H_2O$ erhält man, wenn man verkleinerten Salpeter mit faſt gleicher Gewichtsmenge (97. pCt.) concentrirter Schwefelſäure mäßig erhitzt, wobei Salpeterſäure mit einem Antheil Waſſer (ohne welches ſie nicht exiſti-

ren kann, ſondern ſogleich in Stickſtoff und Sauerſtoff zerfällt) ausgeſchieden wird und in die Vorlage übergeht. Der Salpeter iſt $KO + N_2O_5$, die hier anzuwendende Schwefelſäure $2 (SO_3 + H_2O)$. In der Retorte bleibt zweifach ſchwefelſaures Kali, in Verbindung mit einem Antheile Waſſer, d. i. $KO + 2SO_3 + H_2O$ zurück, während $N_2O_5 + H_2O$ frei wird. Nimmt man, wie früher gebräuchlich war, bloß halb ſo viel Schwefelſäure als Salpeter, ſo iſt eine höhere Temperatur zur Operation nöthig; in der Retorte bleibt zuletzt einfach ſchwefelſaures Kali, aber es wird, wie Mitſcherlich, dem wir die Aufklärung über dieſe Vorgänge verdanken, gezeigt hat, ein Theil der Salpeterſäure zerlegt und geht verloren, was man an der reichlichen Entwicklung von Sauerſtoffgas erkennt. Während der Operation ſelbſt entwickeln ſich gelblich rothe Dämpfe, die ſich in einer Vorlage zu einer orangefarbigen, tropfbaren Flüſſigkeit verdichten laſſen, welche beſtändig Dämpfe, wie die, woraus ſie entſtanden iſt, ausſendet und rauchende Salpeterſäure heißt. Sie iſt eine Verbindung von Salpeterſäure und ſalpetriger Säure, aus der man erſtere erhält, wenn man letztere durch Hitze oder durch Zugießen von Waſſer vertreibt. Im erſteren Falle erhält man ſie concentrirt, im letzteren verdünnt, wo ſie dann, wenn ſie bereits perlblau oder waſſerhell geworden iſt, doppeltes oder einfaches Scheidewaſſer heißt. Die reine Salpeterſäure hat einen ſehr ſauren Geſchmack, färbt die thieriſche Haut und andere organiſche Körper dauerhaft gelb, zerſtört die Pflanzenfarben mit der Zeit, verbindet ſich unter Wärmeentwicklung mit Waſſer, zieht dasſelbe ſogar aus der Atmoſphäre an; ſie nimmt keinen Sauerſtoff mehr auf, tritt aber gerne einen Theil desſelben an leicht oxydirbare Körper ab und verwandelt ſich dann in eine der niedrigeren Oxydationsſtufen des Stickſtoffes, ja ſie kann ſogar den Sauerſtoff ganz fahren laſſen. Uebergießt man daher Kupferfeile mit Scheidewaſſer, ſo erhält man, während ſich das Metall auf Koſten eines Theiles der Säure oxydirt, um ſich in dem übrigen Theile derſelben aufzulöſen, das Stickoxyd als eine farbloſe Gasart, welche vom Waſſer nur in geringer Menge aufgenommen wird, aber in Berührung mit atm. Luft oder mit Sauerſtoffgas ſich ſogleich wieder oxydirt und rothe Dämpfe liefert, ein Gemenge von ſalpetriger und Salpeterſäure, die vom Waſſer verſchluckt werden. Wird Zink in ſehr verdünnter Salpeterſäure aufgelöſt oder dem Stickoxyd durch feuchte Eiſenfeile Sauerſtoff entzogen, ſo erhält man Stickoxydul, ein farbloſes Gas, welches vom Waſſer abſorbirt wird, und eingeathmet einen eigenthümlichen, dem Rauſche ähnlichen Zuſtand hervorruft. Man kann es auch durch Zerlegung des ſalpeterſauren Ammoniaks $N_2H_6 + N_2O_5$ bereiten, das erhitzt in Stickoxydul und Waſſer zerfällt. Das Stickoxyd und Stickoxydul wurden von Prieſtley 1772—1776 entdeckt.

Von der Schwefelſäure SO_3 kommen im Handel zwei Sorten vor: die weiße engliſche und die braune ſächſiſche (das Nordhauſer Oehl). Erſtere wird durch Verbrennen des Schwefels, unter Zuſatz von Salpeter bereitet. Hier wird ein Theil der ſich bildenden ſchwefeligen Säure auf Koſten der Säure des Salpeters oxydirt und in Schwefelſäure verwandelt, welche mit dem Kali des Salpeters ſich verbindet; die zerlegte Salpeterſäure liefert Stickſtoffoxyd, welches aus der atmoſphäriſchen Luft Sauerſtoff aufnimmt, in ſalpetrige Säure übergeht, die dann, wenn Waſſer zugegen iſt, ſich wieder auf Stickſtoffoxyd reducirt, um der ſchwefeligen Säure Sauerſtoff abzutreten, damit Schwefelſäure, die eine große Verwandtſchaft zum Waſſer hat, ſich bilde; das Stickſtoffoxyd nimmt ſodann aus der atmoſphäriſchen

Luft ein neues Sauerſtoffquantum auf, welches wieder auf die ſchwefelige Säure übertragen wird u. ſ. w. Das Nordhauſer Oehl wird durch Deſtillation des calcinirten Eiſenvitriols erhalten. Die auf dem einen oder dem anderen Wege gewonnene Säure muß erſt durch Deſtillation concentrirt und gereiniget werden. Die wäſſerige reine Schwefelſäure (ein Hydrat der waſſerfreien Schwefelſäure, nämlich $SO_3 + H_2O$) iſt ein waſſerheller, geruchloſer, wie Oehl flüſſiger Körper, der alle Eigenſchaften einer ſtarken Säure hat, mit Waſſer ſich heftig erhitzt, ſelbes ſchon aus der Atmoſphäre ſtark anzieht und es überhaupt überall aus ſeinen Beſtandtheilen zu bilden ſucht. Daher kommt auch die zerſtörende und verkohlende Kraft, mit welcher ſie auf alle organiſchen Körper wirkt, und ſelbſt das Schwarzwerden dieſer Säure in Berührung mit organiſchen Stoffen oder mit der Luft, die organiſche Ausdünſtungen enthält. Erhitzt man braune Schwefelſäure, die eine Verbindung des vorerwähnten Hydrates der Schwefelſäure, mit einem andern, weniger Waſſer enthaltenden iſt, in einer Retorte mit vorgelegtem gekühlten Ballon, ſo ſammeln ſich in letzterem asbeſtartige Kryſtalle, die waſſerfreie Schwefelſäure SO_3 darſtellen

Schwefelige Säure SO_2 iſt das erſtickende Gas, das ſich beim Verbrennen des Schwefels erzeugt und das man auch erhält, wenn man Queckſilber mit Schwefelſäure übergießt und hierauf erhitzt. Es iſt farblos, hat einen erſtickenden Geruch, iſt weder ſelbſt brennbar, noch unterhält es das Brennen anderer Körper, bleicht thieriſche Subſtanzen, wird vom Waſſer abſorbirt und ſo in tropfbare Säure verwandelt, kann aber durch ſtarke Erkältung oder durch einen nur etwas ſtarken Druck tropfbar werden und ſtellt dann eine waſſerklare Flüſſigkeit dar, welche ſchon bei — 10° C. ſiedet. Von Prieſtley 1777 zuerſt als Gas rein dargeſtellt.

Die Hydrothionſäure H_2S (Schwefelwaſſerſtoffſäure) entſteht, wenn man irgend ein Schwefelmetall, z. B. Schwefeleiſen, mit verdünnter Schwefelſäure übergießt und das Ganze erwärmt Um das Schwefeleiſen zu erhalten, nimmt man ein mit Waſſer angerührtes Gemenge von 2 Theilen Schwefel und 1 Theil Eiſen; dadurch entſteht Schwefeleiſenhydrat. Wird dieſes mit Schwefelſäure behandelt, ſo oxydirt der Sauerſtoff des Waſſers das Metall, das Oxyd wird von der Schwefelſäure aufgenommen, der Waſſerſtoff des Waſſers aber verbindet ſich mit dem Schwefel zu Hydrothionſäure. Sie bildet ein farbloſes, nach faulen Eiern riechendes, brennbares, für die Reſpiration höchſt nachtheiliges Gas, das ſich durch ſtarken Druck auch tropfbar machen läßt Das Gas wird vom Waſſer aufgenommen, findet ſich in Schwefelwäſſern natürlich damit verbunden, die man ihrer Heilkräfte wegen auch künſtlich darſtellt Die wäſſerige Säure hat den Geruch des Gaſes und wird an der Luft zerſetzt. Von Scheele 1772 zuerſt unterſucht.

Die Phosphorſäure P_2O_5 bildet einen feſten, äußerſt feuerbeſtändigen, ſchwach ſauer ſchmeckenden, im Waſſer löslichen Körper. Sie wird aus thieriſchen Knochen, deren Hauptmaſſe phosphorſaurer Kalk iſt, durch Zerlegung des letzteren mittelſt Schwefelſäure bereitet.

Auch Chlor gibt mit Waſſerſtoff eine Säure, die ſogenannte Salzſäure H_2Cl_2. Dieſe erhält man, wenn man Kochſalz mit 84 pCt. Schwefelſäure vorſichtig übergießt und hierauf erwärmt. Das Kochſalz iſt Natriumchlorid $NaCl_2$; in Berührung mit Schwefelſäurehydrat (engliſcher Schwefelſäure) $SO_3 + H_2O$ entſteht ſchwefelſaures Natriumoxyd $NaO + SO_3$ und Chlorwaſſerſtoffſäure H_2Cl_2. Sie erſcheint als farbloſes Gas, iſt unathembar, weder brennend, noch das Brennen nährend und wird durch ſehr ſtarken Druck tropfbar flüſ-

ſig. Mit dem Waſſer verbindet ſich das Gas in hohem Grade begierig, und ſtellt deßwegen in feuchter Luft weiße Nebel dar; vom Waſſer bis zur Sättigung verſchluckt, gibt es die wäſſerige Salzſäure, welche der Dämpfe wegen, die ſie ausſtößt, rauchende Salzſäure genannt zu werden pflegt. Ein Gemiſche von Salzſäure und Salpeterſäure führt den Namen Königswaſſer, weil ſich Gold darin auflöſet.

Die Flußſäure $H_2 F_2$ (Fluorwaſſerſtoffſäure) erhält man durch Behandlung des Flußſpathes (Calciumfluorides) mittelſt Schwefelſäure auf ähnliche Weiſe, wie ſich bei der Einwirkung von Schwefelſäure auf Kochſalz Chlorwaſſerſtoffſäure bildet; ſie erſcheint als Gas. Dieſes iſt höchſt irreſpirabel, weder ſelbſt brennbar, noch das Brennen anderer Körper unterhaltend, greift das Glas an, daher man es zum Aetzen deſſelben brauchen kann, und erregt auf der Haut ſchmerzhafte Geſchwüre; es wird vom Waſſer abſorbirt, und ertheilt demſelben ſeine, Kieſelerde und Glas auflöſende Kraft.

Die Kohlenſäure $C O_2$ erſcheint in der Regel als Gas, kann aber auch tropfbar und feſt dargeſtellt werden. Als Gas iſt ſie ſchwerer als atmoſphäriſche Luft, zur Unterhaltung des Brennens und Athmens ganz untauglich, wird vom Waſſer leicht abſorbirt, und ertheilt demſelben einen angenehmen ſäuerlichen Geſchmack; ſie widerſteht der Fäulniß mächtig. Sie findet ſich als Gas an vielen Orten der Erde, und ſtrömt hie und da von ſelbſt aus beſonderen Oeffnungen mit oder ohne Waſſer hervor, wie z. B. beim Sprudel in Karlsbad, an einigen Orten am Rhein; ſie entwickelt ſich auch beim Athmen, beim Verbrennen der Kohle, bei der Weingährung, und wird auch künſtlich durch Schwefelſäure aus Kreide, Marmor, d. i. aus kohlenſaurem Kalke ꝛc. ausgetrieben, indem die Schwefelſäure mit dem Kalke Gips bildet. Man benützt ſie häufig zur Bereitung künſtlicher Mineralwäſſer.

Die Oxalſäure ($C_2 O_3$), welche im Safte des Sauerklees und in andern Pflanzen an Kali gebunden vorkommt und daraus abgeſchieden werden kann, bildet ſich auch durch Kochen von Zucker in Salpeterſäure. Erſcheint im waſſerhaltigen Zuſtande in farbloſen Kryſtallen. Von Scheele 1776 entdeckt, von Döbereiner zuerſt richtig analyſirt.

92. Baſen ſind in chemiſcher Beziehung den Säuren gerade entgegengeſetzt. Die ſchwächeren Baſen ſtehen den Säuren ziemlich nahe und ſpielen ſelbſt manchmal die Rolle einer Säure; bei den ſtärkeren aber geht der Gegenſatz mit den Säuren ſo weit, daß ſie die durch Säuren veränderten Pflanzenfarben, z. B. jene der Lackmustinctur wieder herſtellen und ſelbſt eine Aenderung in den natürlichen Farben vieler Pflanzenſäfte bewirken (ſie färben den Veilchenſyrup, die Kohltinctur ꝛc. grün, die Curcumetinctur braun), welche Aenderung aber wieder durch Säuren aufgehoben wird. Die Mehrzahl der Baſen ſind Metalloxyde. Diejenigen, bei welchen die baſiſche Natur am ſtärkſten hervortritt, heißen Alkalien oder alkaliſche Erden; auch die ſchlechtweg Erden genannten Körper gehören hierher.

93. Eigentliche Alkalien kennt man in der unorganiſchen Natur nur vier, nämlich die Oxyde des Kalium, Natrium, Lithium und eines hypothetiſchen Stoffes, des Ammonium. Sie heißen: Kali,

Natrum, Lithion und Ammoniak. Alle dieſe ſind im Waſſer leicht löslich und bemächtigen ſich deſſen, wenn ſie in Berührung mit demſelben bereitet werden, ſo daß man ſie in der Regel nur als Hydrate erhält; ſie haben einen brennenden Geſchmack, greifen organiſche Subſtanzen an und zerſtören ſie mit der Zeit; darum werden ſie ätzend genannt. Sie ſind ſchmelzbar und laſſen ſich ſogar verflüchtigen, ihre Dämpfe haben einen eigenthümlichen Geruch, von dem man an den feſten Subſtanzen oder ihren Löſungen nichts wahrnimmt, ſie verändern mehrere Pflanzenfarben auf eine den Säuren entgegengeſetzte Weiſe, wie z. B. den Veilchenſyrup grün, Curcume braun, und ſtellen die durch Säuren veränderten Farben wieder her. Sie haben zu den Säuren unter allen Baſen die größte Verwandtſchaft und tilgen ihre Eigenſchaften am vollſtändigſten; ihre Verbindungen mit Säuren werden durch Hitze entweder gar nicht oder doch ſchwerer zerſetzt als die der übrigen Baſen. Sie laſſen ſich nur ſehr ſchwer reduciren, daher auch das Radicale von dreien derſelben erſt 1807, jenes des Ammoniak bis jetzt noch nicht dargeſtellt worden iſt. Sie liefern, mit Fettſäure verbunden, im Waſſer lösliche Seifen (Seifenſiederei). An der Luft nehmen ſie Kohlenſäure auf und werden dadurch milde. Die meiſten der hier angeführten Eigenſchaften der eigentlichen Alkalien beſitzen auch die Oxyde von Baryum, Strontium, Calcium und Magneſium, nur ſind ſie im Waſſer weniger löslich als jene, geben mit Fettſäuren im Waſſer unlösliche Seifen und ſind meiſtens für ſich nur ſehr ſchwer ſchmelzbar. Man nennt ſie darum alkaliſche Erden. Sie ſind die Baryt-, Strontian-, Kalk- und Bittererde.

94. Die eigentlichen Erden ſind im Waſſer unlöslich, beſitzen weder Geſchmack noch Geruch, ſind für ſich ſehr ſchwer ſchmelzbar, verdampfen nicht und zeigen auf Pflanzenfarben keine Wirkung. Sie haben zu Säuren eine viel kleinere Verwandtſchaft als die Alkalien und alkaliſchen Erden, heben deren Eigenſchaften nicht ſo vollſtändig auf wie dieſe, und ihre Verbindungen mit Säuren werden, wenn die Säure nicht ſelbſt feuerbeſtändig iſt, durch Glühhitze zerſetzt. Ihre metalliſchen Grundlagen laſſen ſich nur ſchwer darſtellen. Dieſe ſind: Aluminium, Glycium, Yttrium, Zirconium, Thorium, deren Oxyde Thonerde, Süßerde, Ytter-, Zircon- und Thorerde heißen. Zu den Erden laſſen ſich auch die übrigen noch nicht erwähnten Metalloxyde rechnen. Dieſe haben oft ſehr lebhafte Farben und geben meiſtens auch mit Säuren gefärbte Verbindungen (Emailfarben, Porzellanmalerei), ſind im Waſſer unlöslich und mehr oder weniger leicht ſchmelzbar. Sie laſſen ſich leichter reduciren als Erden und Alkalien. Manche Metalloxyde geben in Bezug auf baſiſche Natur den alkaliſchen Erden nichts nach, wie z. B. Zinkoxyd, Bleioxyd; andere ſind wahre Säuren (vergl. S. 64). Die meiſten Metalle geben mehrere Oxyde.

95. Unter den Verbindungen der zweiten Ordnung ſind die ſtreng ſo zu nennenden Salze oder die Amphidſalze die wichtigſten. Man verſteht darunter, wie bereits oben geſagt wurde, Ver-

bindungen der Säuren mit Baſen. Hievon ſind lediglich die durch Sauerſtoff- und durch Sulfoſäuren gebildeten, die ſogenannten Sauerſtoffſalze und Schwefelſalze unterſucht. Dieſe Salze ſind im waſſerfreien Zuſtande feſt, und wenn ſie rein ſind und aus farbloſen Baſen und Säuren beſtehen, auch farblos; die aus farbigen Baſen beſtehenden haben meiſtens die Farbe der waſſerhältigen Baſe oder eine ihr ähnliche, doch hängt die Farbe überhaupt ſtark von dem Waſſergehalte ab. Die meiſten Salze ſind im Waſſer löslich und haben einen eigenthümlichen Geſchmack; ihre Löslichkeit im Waſſer hängt von der Natur der Säure und Baſe, vom Orydationszuſtande der letzteren, vom Miſchungsverhältniſſe der zwei Beſtandtheile und von der Temperatur ab; ſie brauchen faſt durchaus dem Gewichte nach mehr Waſſer, als ihr eigenes Gewicht beträgt. Man theilt die Salze nach der Säure in Gattungen und dieſe nach der Baſe in Arten ein. So z. B. bilden die ſchwefelſauren, ſalpeterſauren, kohlenſauren Salze Gattungen, ſchwefelſaurer Kalk, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaures Eiſenoxyd Arten der Gattung ſchwefelſaurer Salze. Man bezeichnet ſie dadurch, daß man der Baſe den zu einem Adjectiv umgeformten Namen der Säure vorſetzt, wie die vorhergehenden Beiſpiele zeigen; viele Salze haben auch Trivialnamen, welche ihrer Kürze wegen oft auch in der Wiſſenſchaft mit Nutzen gebraucht werden. So ſagt man z. B. Salpeter ſtatt ſalpeterſaures Kaliumoxyd, Glauberſalz ſtatt waſſerhältiges, kryſtalliſirtes, ſchwefelſaures Natriumoxyd. Jede Gattung der Salze hat einen eigenthümlichen Charakter und unterſcheidet ſich dadurch von den übrigen Gattungen. Die Sauerſtoffſalze ſind entweder neutrale oder ſaure oder baſiſche. Man nennt ein Salz neutral oder beſſer normal, wenn die Menge der Baſe mit jener der Säure in einem gewiſſen Verhältniſſe ſteht. Dieſes Verhältniß iſt durch die Anzahl der Sauerſtoffatome beſtimmt, welche auf eine Anzahl Atome der Baſe kommen. So z. B. fordert die normale Zuſammenſetzung der ſchwefelſauren Salze, daß der Sauerſtoff der Schwefelſäure das 3fache von dem der Baſe, die der ſalpeterſauren Salze, daß die Sauerſtoffmenge der Säure das 5fache von jener der Baſe ſey. Iſt der Sauerſtoffgehalt der Säure größer, ſo heißt das Salz ſauer, iſt er geringer, ſo wird das Salz baſiſch genannt. Es enthält demnach keinen Widerſpruch, wenn man ſagt, die Auflöſungen der neutralen Eiſenoxydſalze röthen den Lackmus. Es kann ſich aber nicht jede Baſe in dieſem dreifachen Verhältniſſe mit einer Säure zu Salzen verbinden, ſo wie überhaupt nicht jede Baſe mit einer Säure ein Salz gibt.

Früher nannte man ein Salz neutral, in welchem die Eigenſchaften der Säure und Baſe ſich gegenſeitig aufgehoben haben; ein Salz, worin die Säure vorwaltet, hieß ſauer; ein ſolches, worin die Baſe überwiegt, baſiſch und es wurde dieſer Charakter durch das Verhalten gegen farbige Pflanzenſäfte beſtimmt. Der mit dem Worte Salz ſelbſt zu verbindende Begriff hat ſich im Verlaufe der Entwicklung der Wiſ-

ſenſchaften mehrere Male geändert, und man kam zuletzt ſogar in Gefahr, das Vorbild aller Salze, das Kochſalz, von der Gruppe der Salze auszuſchließen. Induction und Analogie führen in Erfahrungswiſſenſchaften zu Anſichten und veranlaſſen eben ſo bei geſteigerter Erfahrung, dieſe wieder aufzugeben und gegen andere umzutauſchen. Die älteren Chemiker nannten jeden in wenigſtens 500 Theilen Waſſer löslichen Stoff ein Salz; ſie ſprachen von ſauren Salzen (Säuren), Laugenſalzen (Alkalien), Neutralſalzen (Verbindungen der Säuren mit Laugenſalzen), Mittelſalzen (Verbindungen der Säuren mit Erden und Metallkalken), von welchen letzteren ſie erdige und metalliſche unterſchieden. Später nannte man nur Verbindungen von Sauerſtoffſäuren mit Metalloxyden und Ammoniak Salze; das Kochſalz galt als ſalzſaures Natriumoxyd, die Salzſäure ſelbſt als die Sauerſtoffſäure eines unbekannten Radicals, und Chlor als oxydirte Salzſäure. Probehältige Analogien veranlaßten hierauf die Salzſäure als eine Waſſerſtoffſäure des Chlors zu betrachten; Salzſäure und Natriumoxyd geben dieſer Anſicht gemäß Natriumchlorid und Waſſer; letzteres entſpringt aus dem Waſſerſtoff der Säure und dem Sauerſtoff des Oxydes: waſſerfreies Kochſalz ſelbſt iſt Natriumchlorid. Wollte man nun das Kochſalz und viele andere ähnliche Stoffe nicht aus der Liſte der Salze ſtreichen, ſo mußte man zwei verſchiedene Gattungen Salze, Haloidſalze und Amphidſalze annehmen und zu letzteren die Sauerſtoffſalze rechnen. Die Haloidſalze ſind Verbindungen der zweiten Ordnung und gehören als ſolche eigentlich nicht hierher. Es iſt ſchon S. 62 erwähnt worden, daß ſie Verbindungen von Chlor oder Brom, Jod, Fluor und anderen Metallen ſind, (allen jenen Grundſtoffen, die mit Waſſerſtoff die ſtärkſten Säuren geben) Man nennt darum jene Grundſtoffe auch Haloide (Salzbilder). Das charakteriſtiſche aller Salze, das Kochſalz, gehört in die Claſſe der Haloidſalze, denn es iſt eine Verbindung von Chlor mit Natrium Es gibt auch zuſammengeſetzte Salzbilder, die ſich ganz wie einfache verhalten.

96. Zu den Verbindungen der dritten Ordnung gehören die der Amphidſalze mit Waſſer, alſo Salzhydrate und die zweier Amphidſalze mit einander. Letztere nennt man Doppelſalze. Von der Art iſt Alaun, eine Verbindung von ſchwefelſaurer Thonerde und ſchwefelſaurem Kali ($KO.SO_3 + Al_2O_3.SO_3$) auch mehrere Mineralien gehören hierher, wie z. B. Feldſpath ($KO.SiO_3 + Al_2O_3.Si_3$). Ein mit Waſſer chemiſch verbundenes Doppelſalz, (z. B. kryſtalliſirter Alaun) liefert ein Beiſpiel einer Verbindung der vierten Ordnung. Ueber dieſe hinaus kommen ſehr wenige Verbindungen vor und ſelbſt dieſe liefert meiſt nur die Natur ſelbſt.

97. Bisher wurden nur ſolche chemiſche Producte betrachtet, welche ſich durch ihre qualitative und quantitative Zuſammenſetzung von einander unterſcheiden. Es gibt aber auch ſolche, die ein verſchiedenes chemiſches Verhalten an Tag legen und daher für verſchieden anerkannt werden müſſen, ungeachtet ſie auf gleiche Weiſe chemiſch zuſammengeſetzt ſind Als Beiſpiel kann der Zinnober angeſehen werden, der aus 1 At. Queckſilber und 1 At. Schwefel beſteht. Erzeugt man ihn durch Zuſammenſchmelzen von Schwefel und Queckſilber im benannten Verhältniſſe, ſo erhält man ihn als ſchwarze Maſſe, die weder das Anſehen noch die ſonſtigen Eigenſchaften des Zinnobers hat;

unterwirft man aber dieſe Maſſe einer Sublimation, bei der ſie ihre Zuſammenſetzung gar nicht ändert und wo noch immer 1 At. Schwefel mit 1 At. Queckſilber verbunden bleibt; ſo erhält man ſie in dem bekannten Zuſtande als ſchöne, rothe Malerfarbe. Unzählige andere Beiſpiele dieſer Art liefert die organiſche Natur in ihren Erzeugniſſen. Man nennt ſolche Stoffe, die bei gleicher chemiſcher Zuſammenſetzung doch verſchiedene Eigenſchaften beſitzen, iſomeriſche Stoffe. Es können die iſomeriſchen Zuſtände von einer verſchiedenen Gruppirung der Grundſtoffe abhängen, doch iſt auch noch eine andere Vorſtellungsweiſe möglich. Man bemerkt nämlich an einigen Grundſtoffen, bei denen man doch nicht an eine verſchiedene Anordnung der ungleichartigen Atome zu zuſammengeſetzten denken kann, ein der Iſomerie ähnliches Verhalten Solche Zuſtände kommen am Kohlenſtoff vor, wenn er als Demant und wenn er als Holzkohle erſcheint, im gelben feſten und im braunen knetbaren Schwefel, im durchſichtigen gelben und im trüben weißen Phosphor, wie ſpäter näher beſprochen werden wird. Bei letzterem ſcheint ſogar jeder dieſer Zuſtände ſich noch in den Säuren auszuſprechen, die der Phosphor mit Sauerſtoff bildet (Berzelius in Pogg Ann. 59. 76.) Die Erklärung dieſer Zuſtände von Grundſtoffen, die man allotropiſche nennt, kann doch nur darin geſucht werden, daß die gleichartigen Atome verſchieden beſchaffene Seiten beſitzen und ſich bald dieſe bald jene zukehren. Eben darin mag nun auch der Grund der Iſomerie wenigſtens in manchen Fällen liegen. Unter den iſomeriſchen Körpern gibt es ſolche, wo der eine ein größeres Atomengewicht hat als der andere, ungeachtet das Verhältniß der Atome zu einander daſſelbe iſt, wie z. B. bei zwei Körpern, deren Beſtandtheile A und B ſind, wovon aber einer zuſammengeſetzt iſt wie $A + 2B$, der andere wie $2A + 4B$. Solche Zuſtände nennt man polymeriſche. Beiſpiele liefert das Citronenöhl $C_{10}\ H_{16}$ und das Terpentinöhl $C_{20}\ H_{32}$. Endlich iſt noch jener chemiſche Zuſtand hervorzuheben, wo zwei Körper aus denſelben Grundſtoffen in gleichen Quantitäten zuſammengeſetzt ſind, dieſe Stoffe aber auf verſchiedene Weiſe mit einander ve bunden enthalten. Man nennt ſie metameriſche Stoffe. Ein Beiſpiel haben wir am eſſigſauren Methyloxyd und am ameiſenſauren Aethyloxyd, welche beide ſo zuſammengeſetzt ſind, wie die Formel $C_6\ H_{12}\ O_4$ zeigt, allein die Verbindung des letzteren wird durch $C_4 H_{10} O + C_2 H_2 O_3$, die des erſteren durch $C_2 H_6 O + C_4 H_6 O_3$ bezeichnet, woraus man ſieht, daß bei dem einen $C_2\ H_4$ in dem Aetyloxyde, beim anderen in der Eſſigſäure ſteckt. Es iſt klar, daß ſolche Zuſtände nur da vorkommen können, wo mehrere Grundſtoffe und viele Atome derſelben mit einander verbunden ſind.

98. Unter den Verbindungen der Grundſtoffe ſind beſonders die aus Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff und Kohlenſtoff gebildeten bemerkenswerth. Dieſe können ſich nämlich mit Grundſtoffen zu neuen Verbindungen vereinen, welche in ihren chemiſchen Eigenſchaften den aus zwei Grundſtoffen beſtehenden ähnlich ſind. Man nennt

ſie **zuſammengeſetzte Radicale**. Die Verbindungen dieſer mit Grundſtoffen und zuſammengeſetzten Körpern machen eine eigene Claſſe aus. Sie werden zum Theile durch den Lebensprozeß gebildet und darum kann man die organiſche Chemie als die Chemie der zuſammengeſetzten Radicale betrachten. (Vergleiche 86.) Einige dieſer Radicale laſſen ſich nicht iſolirt darſtellen und haben daher gewiſſer Maßen nur eine hypothetiſche Exiſtenz, wie z. B. das Benzoyl, Aethyl, mehrere gehören aber zu den darſtellbaren Stoffen, wie z. B. Kohlenoxyd, Cyan, der Kohlenwaſſerſtoff.

Kohlenoxyd (CO) kennt man nur in Gasform. Man erhält es, wenn man der kryſtalliſirten Oxalſäure durch Schwefelſäure Waſſer entzieht, welches dadurch geſchieht, daß man beide mit einander erhitzt. Hiebei zerfällt die Oxalſäure, die ohne Waſſer nicht beſtehen kann, in Kohlenſäure und in Kohlenoxydgas, wovon erſtere durch die Kalilöſung aufgenommen wird. Noch einfacher geht die Erzeugung dieſes Gaſes vor ſich, wenn man feingepulvertes Blutlaugenſalz (Ferrocyankalium) in einer geräumigen Retorte mit ſeinem 8—10fachen Gewichte concentrirter Schwefelſäure miſcht und es erhitzt. (Fownes in Liebigs Ann. 48. 38.)

Das Kohlenoxydgas brennt mit blauer Flamme. Es bildet ſich auch beim Verbrennen der Kohle unter gehemmtem Luftzutritte. Wurde 1799 von Prieſtley entdeckt.

Das Grubengas (Kohlenwaſſerſtoffgas mit dem Minimum von Kohlenſtoff) entwickelt ſich in Sümpfen, daher es auch Sumpfgas heißt, ferner in Kohlenbergwerken, kann aber künſtlich erzeugt werden, wenn man Waſſerdämpfe durch ein glühendes, mit Kohlenpulver gefülltes eiſernes Rohr leitet. Es iſt nicht reſpirabel, riecht ſehr unangenehm, läßt ſich anzünden, und brennt mit einer ſehr ſchwachen blauen Flamme, die nicht ſtark leuchtet, detonirt aber, mit Sauerſtoffgas gemiſcht und dann angezündet, ſehr heftig. Das Leuchtgas (Kohlenwaſſerſtoffgas mit dem Maximum an Kohlenſtoff) wird zum Behufe der Gasbeleuchtung durch Deſtillation organiſcher Subſtanzen, vorzüglich Oehl, Steinkohlen ꝛc. bereitet. Zu Verſuchen im Kleinen erhält man es leicht durch Erhitzen einer Miſchung von 1 Theile Alkohol mit 4 Theilen ſtarker Schwefelſäure. Es iſt farblos, von widrigem Geruche, brennbar, und zwar brennt es mit ſehr heller, lebhafter Flamme, verpufft, mit Sauerſtoffgas erhitzt, ſehr gewaltig, und liefert mit Chlor einen öhlartigen Körper, daher man es auch öhlbildendes Gas nennt (Pogg. Ann. 4. 469; 5. 316 und 324). Wurde 1794 bekannt.

Das Cyan Cy erſcheint als farbloſes Gas, von durchdringendem Geruche, iſt giftig, wird vom Waſſer abſorbirt, und brennt mit ſchön violetter Flamme. Man erhält es, wenn man Cyanqueckſilber $HgCy_2$ in einer kleinen Retorte über einer Weingeiſtlampe erhitzt, noch leichter und wohlfeiler aber, indem man 6 Th vollkommen trockenen Blutlaugenſalzes mit 9 Th. Queckſilberchlorid innig mengt und das Gemenge in einer Glasretorte erhitzt. Dabei entwickelt ſich Cyangas, es deſtillirt Queckſilber über und in der Retorte bleibt ein dunkler Rückſtand, der aus Chlorkalium und Cyaneiſen beſteht. (Kemp. in Liebig's Annal. 48. 151.)

99. Alle organiſchen Verbindungen laſſen ſich in gewiſſe Gruppen zuſammenſtellen, deren jede eine Reihe von Körpern enthält, die ein gemeinſchaftliches Radical haben. Eine ſolche Gruppe bilden die

Verbindungen des Kohlenoxydes C O. Dieſes Radical gibt mit Sauerſtoff die Oxalſäure ($C_2 O_3$), die ſelbſt wieder eine Reihe Salze liefert, ferner die Rhodizonſäure ($C_7 O_7$) die Krokonſäure ($C_5 O_4$) die Honigſteinſäure ($C_4 O_4$.) Eine andere Gruppe ſtellen die Verbindungen des Cyan ($C_2 N_2 = Cy$) dar, welches Radicale die Cyanſäure ($Cy_2 O$), die Knallſäure ($Cy_4 O_2$) mit ihren Salzen, die Blauſäure oder Cyanwaſſerſtoffſäure ($Cy_2 H_2$), das Cyankalium ($Cy_2 K$) und andere Cyanmetalle ꝛc. liefert. Das hypothetiſche Radical, Benzoyl ($C_{14} H_{10} O_2 = Bz$) genannt, liefert die Benzoeſäure ($Bz O + aq$) und deren Salze, den Benzoylwaſſerſtoff (Benzoeöhl) ($Bz H_5$) und deſſen Verbindungen ꝛc. ꝛc. Eben ſo gibt das Aethyl ($C_4 H_{10} = Ae$) das Aethyloxyd ($A e O$) gewöhnlich Aether genannt, den Alkohol (Aethyloxydhydrat $Ae O + aq$) und in Verbindung mit Säuren und Haloiden die verſchiedenen Aetherarten ꝛc. ꝛc.

100. Die meiſten organiſchen Verbindungen ſind ſauerſtoffhältig und beſitzen den Charakter der Oxyde. Dieſe Analogie mit den Oxyden geht ſo weit, daß einige derſelben als entſchieden ſauer, andere als baſiſch auftreten. Eine große Zahl organiſcher Stoffe iſt aber in ſo geringem Grade Säure oder Baſe, daß ſie Säuren gegenüber die Rolle einer Baſe, Baſen gegenüber die Rolle einer Säure ſpielen und man dieſelben lieber für indifferent halten möchte.

Viele organiſche Säuren wetteifern in Bezug auf Verwandtſchaft zu Baſen mit ſtarken anorganiſchen Säuren und die meiſten ſind kryſtalliſirbar. Keine natürlich vorkommende Pflanzenſäure enthält Stickſtoff und jede derſelben mehr Sauerſtoff als nöthig iſt, um mit ihrem Waſſerſtoff Waſſer zu bilden. Viele Säuren kommen ſehr allgemein vor, wie z. B. Weinſäure, Eſſigſäure, Citronenſäure, Aepfelſäure, Gerbſäure, und zwar theils frei, wie die Citronſäure, theils an Baſen gebunden, wie Weinſteinſäure an Kali im Weinſtein; andere aber ſind nur gewiſſen Körpern eigen, wie z. B. die Margarin-, Stearin- und Oleinſäure den Fettarten die Butterſäure, Capronſäure, Caprinſäure und Vaccinſäure der Butter, die Hircinſäure dem Bockstalg, die Oenantſäure dem Weine u. dgl. Die meiſten organiſchen Baſen ſind feſte meiſt kryſtalliſirbare Körper, enthalten ſämmtlich Stickſtoff, finden ſich ausſchließend und zwar an Säuren gebunden im Pflanzenreiche, und machen in ſolchen Vegetabilien, die ſich durch ihre Giftigkeit oder ihre Heilkräfte auszeichnen, den wirkſamen Beſtandtheil aus. So ertheilt das Morphin dem Opium, das Chinin der Chinarinde, das Strychnin den Krähaugen, das Emetin der Ipecacuanha, das Atropin dem Tollkraut, das Coniin dem Schierling ihre Wirkſamkeit Viele dieſer Baſen beſitzen alkaliſche Eigenſchaften. Der größere Theil der organiſchen Stoffe aber ſcheint indifferenter Natur zu ſeyn, zumal da ihren Verbindungen mit Säuren oder Baſen der eigentliche Charakter eines Salzes fehlt. Doch läßt ſich mit Hülfe der Analogie in mehreren Fällen die etwas weniger deutlich ausgeſprochene Beziehung der Stoffe zu einander erkennen, und eine genügende Ueberſicht ihres Zuſammenhanges gewinnen. Einige dieſer indifferenten Stoffe machen im Allgemeinen die näheren Beſtandtheile der Pflanzenkörper aus, als: Stärke, Gummi, Pflanzenſchleim, Pflanzenleim, Pflanzeneiweiß, Zucker, Oehle, Harze; andere kommen nur

in gewiſſen Arten vor, wie Alizarin in der Färberröthe (Krapp), Indig im Indigo, Piperin im Pfeffer, Amygdalin in den bitteren Mandeln und im Kirſchlorbeer, Glycyrrhicin im Süßholze u. ſ. w.

101. Organiſche Verbindungen erleiden unter dem Schutze und durch Vermittlung der Lebenskraft beſondere Veränderungen. Von der Art iſt die Umwandlung der Weinſäure (H_2 C_4 O_5) in Zucker (H_{12} C_{12} O_{12}) beim Reifen der Weintrauben. Dieſe erfolgt dadurch, daß von 6 Atomen Weinſäure 6 Atome Sauerſtoff aufgenommen und dafür 12 Atome Kohlenſäure abgegeben werden; denn es iſt $6(H_2\ C_4\ O_5) = H_{12}\ C_{24}\ O_{30} + O_6 - 12\ CO_2 = H_{12}\ C_{12}\ O_{12}$. Wenn aber die Lebenskraft von ihnen gewichen iſt, fallen ſie ganz der chemiſchen Verwandtſchaft anheim und erleiden Veränderungen, welche durch Beſchaffenheit, Anzahl und den Verwandtſchaftsgrad der Grundſtoffe zu einander bedingt werden. Einige dieſer Veränderungen erfolgen dadurch, daß ſie mit einem Körper in Berührung kommen, der zu einem oder mehreren Beſtandtheilen des organiſchen Stoffes eine überwiegende Verwandtſchaft hat; dieſe Veränderungen haben ſie mit den unorganiſchen Verbindungen gemein; aber charakteriſtiſch ſind für ſie ſolche Veränderungen, bei denen der mitwirkende Körper keine Verbindung eingeht mit einem Beſtandtheile des Stoffes, welcher zerſetzt wird. Die Stelle eines ſolchen einwirkenden Körpers kann auch die Wärme vertreten, indem ſie die Verwandtſchaftsgrade der Beſtandſtoffe zu einander modificirt und ſie oft ſogar umkehrt. Dieſe Veränderungen ſind eigentliche Zerſetzungen, bei denen ſich die Elemente des betreffenden Körpers zu zwei oder mehreren neuen Verbindungen umſetzen, ohne daß eines ihrer Elemente einzeln in Freiheit geſetzt wird. Man nennt ſie Metamorphoſen.

102. Ein gutes Beiſpiel einer durch erhöhte Temperatur bewirkten Metamorphoſe eines organiſchen Körpers liefert uns die trockene Deſtillation des Holzes oder eines andern ſtickſtofffreien Körpers. Erhitzt man Holzſpäne in einem geſchloſſenen Gefäße ohne Zutritt der Luft, ſo theilt ſich ſein Kohlenſtoff in ſeinen Sauerſtoff und Waſſerſtoff; es bilden ſich Kohlenoxyd und Kohlenſäure auf der einen, gasförmige, tropfbare und feſte Kohlenſtoffverbindungen auf der andern Seite, und wenn Kohlenſtoff im Ueberfluſſe vorhanden iſt, bleibt zuletzt Kohle zurück. Es vereinigen ſich alſo die Beſtandtheile des der Operation unterworfenen Körpers mit oder ohne Abſcheidung von Kohle zu neuen Verbindungen einfacherer Radicale. Verfolgt man dieſe Verbindungen vom Anfange der Operation näher, ſo findet man, daß die Producte nach Maßgabe der angewendeten Temperatur verſchieden ſind. Zuerſt und ſo lange die Temperatur nicht hoch genug iſt, entſtehen Säuren mit einfachem Radical, Kohlenſäure und brennbare Flüſſigkeiten. Später, wenn die Temperatur höher ſteigt, werden dieſe letztern Producte abermal zerſetzt, ihr Sauerſtoff vereinigt ſich mit Kohlenſtoff und Waſſerſtoff zu Kohlenoxyd, Kohlenſäure und Waſſer, mithin zu noch einfacheren Verbindungen, es ſcheidet ſich Kohle ab, und der Reſt gibt mit Waſſerſtoff feſte und flüſſige öhlartige

Körper. Endlich zuletzt erhält man nur Kohle und Gaſe, und zwar Kohlenſäure, Kohlenoxyd und Kohlenwaſſerſtoff. Stickſtoffhältige Körper bilden unter denſelben Umſtänden zuerſt Ammoniak oder Cyanſäure, zuletzt Blauſäure. Begreiflich enthält das Geſagte nur den allgemeinen Abriß eines Vorganges, der nach Maßgabe der Beſchaffenheit des Gegenſtandes der Deſtillation und der Leitung letzterer durch die Wärme eine große Mannigfaltigkeit der Erſcheinungen zeigt, und in den einzelnen Perioden die verſchiedenartigſten Gebilde hervorruft, aus welchen durch geeignete Behandlung wieder andere zu Stande kommen. Hierher gehört die Deſtillation der Steinkohlen, der Harze, Fette u. ſ. w. mit ihrem Heere von primären und ſecundären Producten.

103 Sehr merkwürdig ſind jene Metamorphoſen, welche organiſche Stoffe durch Berührung mit einem Stoffe erleiden, der ſelbſt dabei keine Verbindung eingeht und gleichſam durch ſeine Gegenwart allein wirket. Man nennt ſie **Gährung** oder **Fäulniß**. Durch Gährung können unzählige Producte erzeugt werden und man unterſcheidet demnach verſchiedene Arten von Gährung. So ſpricht man von einer geiſtigen, ſauren Gährung, von Brotgährung, Tabakgährung ꝛc. ꝛc. Für das praktiſche Leben ſind die zwei erſtgenannten von beſonderer Wichtigkeit, darum ſollen ſie auch beſonders betrachtet werden.

104. Wenn man einer Auflöſung von Zucker in Waſſer eine verhältnißmäßig geringe Portion Hefe (Ferment) zuſetzt, und ſodann das Ganze in einer gleichmäßigen Temperatur zwiſchen 10° und 30° C. ungeſtört ſich ſelbſt überläßt; ſo erwärmt ſich die Maſſe, trübt ſich, gewinnt an Volum und entwickelt häufige Luftblaſen, die ſich als Kohlenſäuregas charakteriſiren; nach und nach wird die Maſſe wieder klar, nimmt die Temperatur der Umgebung an, ſchmeckt nicht mehr ſüß, ſondern geiſtig und iſt berauſchend. Dieſes rührt davon her, daß ſich in ſelber ſtatt Zucker **Alkohol** oder **Weingeiſt** befindet. Man nennt dieſe Metamorphoſe, welche eben ſo nur mit geringer Modification der Traubenſaft und andere ſüße Pflanzenſäfte unter den gehörigen Umſtänden erleiden, die **geiſtige** oder **Weingährung**. Chemiſch betrachtet beſteht dieſe Veränderung darin, daß der Zucker, er mag nun Rohr- oder Traubenzucker geweſen ſeyn, durch die Einwirkung des Ferments in Kohlenſäure und Alkohol zerfällt, wovon erſtere entweicht, letzterer aber in der Flüſſigkeit zurückbleibt.

Zu näherer Beleuchtung des Prozeſſes der geiſtigen Gährung mögen nachſtehende Bemerkungen dienen: Es iſt 1 Atom Traubenzucker $= C_{12} H_{24} O_{12}$, welchen Ausdruck man auch unter der Form

$$C_8 H_{24} O_4 + C_4 O_8 = 2\, C_4 H_{12} O_2 + 4\, CO_2$$

darſtellen kann Aber $C_4 H_{12} O_2$ iſt die Zuſammenſetzung des Alkohols und CO_2 jene der Kohlenſäure; es kann daher 1 Atom Traubenzucker als die Verbindung von 2 Atomen Alkohol mit 4 Atomen Kohlenſäure betrachtet werden Rohrzucker, deſſen Formel $C_{12} H_{22} O_{11}$ iſt, nimmt vorher noch 1 Atom Waſſer auf und verwandelt ſich dadurch in Traubenzucker. Man kann die Realität dieſer Umwandlung auch durch an-

dere Vorgänge beſtätigen; z. B. erhitzt man eine wäſſerige Löſung von Rohrzucker lange Zeit, ſo geht der Rohrzucker wirklich in Traubenzucker über, was durch Zuſatz von Schwefelſäure ſehr beſchleunigt werden kann. Die natürlich vorkommenden zuckerhältigen Pflanzenſäfte bedürfen zur Hervorrufung dieſer Veränderung des Zuſatzes von Ferment nicht, weil ſie einen ſtickſtoffhältigen Beſtandtheil enthalten, der ſich in Berührung mit Luft oder mit Kohlenſäure in Ferment umſetzt Sie erleiden daher, wenn nur ſonſt die gehörigen Umſtände vorhanden ſind, gleichſam von ſelbſt die Zerfällung ihres Zuckergehaltes in Kohlenſäure und Alkohol. Dieß iſt der Fall bei dem Traubenſafte, dem Malzdecocte, Runkelrüben- oder Zuckerrohrſafte ꝛc., welche in Ruhe und bei mäßiger Temperatur ſich ſelbſt überlaſſen in Wein, Bier, Rhum ꝛc. verwandelt werden. Das Ferment ſetzt ſich hier, wie bei der Gährung der mit Hefe verſetzten Zuckerlöſung, zu Boden, und kann gebraucht werden, um andere Quantitäten Zucker in Gährung zu bringen, außer man hat es zuvor getrocknet oder auf 100° C. erhitzt oder mit Alkohol, Säuren, Alkalien ꝛc. behandelt, wodurch die Eigenſchaft, Gährung zu erregen, verloren geht. Dasſelbe geſchieht auch, wenn man dem an und für ſich gährungsfähigen Safte verſchiedene Subſtanzen, die ſich der Erfahrung zu Folge als Hinderungsmittel der Gährung zeigen, zuſetzt, als: ſchweflige, ſalpetrige oder arſenige Säure, Queckſilberchlorid, Kochſalz, Holzeſſig, ätheriſche Oehle, ja ſelbſt ein Uebermaß von Zucker (eingemachte Früchte). Wenn Stoffe, die keinen Zucker enthalten, gährungsfähig erſcheinen, ſo geſchieht dieſes dadurch, daß Beſtandtheile derſelben zuvor mittelbar oder unmittelbar in Zucker umgewandelt werden. Dieſes iſt der Fall z. B. bei Stärkemehl, das demnach auch geeignet iſt, durch Gährung Alkohol zu liefern. Dasſelbe verwandelt ſich nämlich zuerſt in Gummi und hierauf in Zucker. Dieß erklärt, wie man aus Getreide, Erdäpfeln ꝛc. Branntwein gewinnen kann. Ueberhaupt wird man ſich nach dem hier Geſagten von Allem, was die Erfahrung in Bezug auf Bereitung geiſtiger Getränke lehrt, ohne Anſtand Rechenſchaft geben können. So wird man einſehen, warum ſaure Trauben ſchlechten oder nur ſchwachen Wein geben, warum Bier um ſo ſtärker wird, je mehr Malz man zu deſſen Bereitung anwendet. Stoffe, die viel Zucker enthalten, verlieren ihn nicht ganz bei der erſten heftigen Gährung und geben daher ein zugleich berauſchendes und ſüßes Getränk, wie die ſogenannten Ausbrüche, den Meth ꝛc. Trauben unter Queckſilber gepreßt und ganz von der Luft abgeſperrt, geben, da hier die Bildung des Ferments ausbleibt, keinen Wein. Uebrigens dauert die Weingährung, ſelbſt wenn das Kohlenſäuregas nicht entweichen kann, ſondern ſich über dem gährenden Moſte verdichten muß, noch eine geraume Zeit fort; daher Weine mit der Zeit immer ſtärker werden, aber wenn ſie ſüß ſind, nach und nach dieſen Geſchmack verlieren, und auch, wenn ſie freie Säure enthalten, dieſelbe abſetzen und milder werden. Wird guter Wein nach der erſten Gährung in ein Gefäß luftdicht eingeſchloſſen, ſo nimmt er die bei der ferneren Gährung entwickelte kohlenſaure Luft auf, und gibt ſie erſt nach dem Oeffnen des Gefäßes allmälig wieder von ſich, wie dieſes mit dem mouſſirenden Champagner, Bouteillenbiere ꝛc. der Fall iſt. Die große Menge des bei der Weingährung ſich entwickelnden Kohlenſäuregaſes geſtattet auch dieſes zu techniſchen Zwecken, z. B zur Bereitung kohlenſaurer Salze nutzbringend zu machen, ja man leitet zu dieſem Zwecke mit Vortheil ſelbſt künſtlich eine Gährung ein Die weinige Gährung findet auch bei dem Zurichten des Teiges zu Brot und anderem Gebäcke eine wichtige Anwendung; der Zuckergehalt des

Mehles liefert durch die mittelſt ſeines Klebers oder auch durch Beihülfe eines Ferments eingeleitete Gährung des Teiges Kohlenſäuregas, das zu deſſen Auflockerung weſentlich nothwendig iſt.

105. Man kann den Alkohol nicht unmittelbar aus ſeinen Beſtandtheilen, Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Kohlenſtoff zuſammenſetzen, ſondern gewinnt ihn lediglich aus Stoffen, welche die weinige Gährung durchgemacht haben, mittelſt Deſtillation. Wiederholt man dieſe Operation mehrere Male, ſo erhält man den Alkohol in bedeutend concentrirtem Zuſtande, und kann ihm durch geeignete Behandlung mit Subſtanzen, die eine große Verwandtſchaft zum Waſſer haben, z. B. Chlorcalcium, auch noch den letzten Antheil deſſelben entziehen. In dieſem Zuſtande heißt er abſoluter Alkohol und erſcheint als waſſerhelle, leicht bewegliche, dünne, äußerſt ſcharf ſchmeckende, flüchtige, bei 78° C. ſiedende, entzündliche, Harze und Oehle auflöſende Subſtanz, die das Gepräge dieſer Eigenſchaften auch in Verbindung mit Waſſer, mit dem ſie ſich ſehr gerne miſcht, beibehält. Der Alkohol iſt dem Phyſiker wegen mehrfältigen Gebrauches, vornehmlich als reinliches Brennmaterial wichtig. Er liefert unter dem Einfluſſe chemiſcher Kräfte mehrere höchſt merkwürdige Stoffe, darunter den, dem Phyſiker wegen ſeiner großen Flüchtigkeit beſonders willkommenen Aether (auch Schwefeläther genannt), eine waſſerhelle, dünnflüſſige Subſtanz, die ſchon bei 36° C. ſiedet. Der Aether wird durch Behandlung des Alkohols mit Schwefelſäure, deren Endreſultat Waſſerentziehung iſt, gewonnen.

Man kann den Alkohol $C_4 H_{12} O_2$ als eine Verbindung des Aethers $C_4 H_{10} O$ mit 1 Atom Waſſers betrachten. Der Aether ſelbſt läßt ſich als Oxyd des Aethyls $Ae = C_4 H_{10}$ anſehen, welches hypothetiſche Radical der Anfangspunct einer ſehr intereſſanten Reihe zuſammengeſetzter Stoffe iſt. Bei der Aetherbereitung bildet ſich durch Verbindung der Schwefelſäure mit dem im Alkohol enthaltenen Aether zunächſt Weinſchwefelſäure oder ſaures ſchwefelſaures Aethyloxyd, das ſich wieder bei höherer Temperatur zerlegt.

106. Der Alkohol iſt in Berührung mit ſauerſtoffhältigen oder die Oxydirung an der Luft vermittelnden Körpern einer weiteren Umänderung fähig, wodurch er höher oxydirt und in Eſſigſäure umgewandelt wird. Dieſer Vorgang führt den Namen Eſſiggährung. Sie ſetzt nothwendig Alkohol und daher die geiſtige Gährung voraus, und fordert zu ihrem Eintreten überdieß noch eine Temperatur von 25°—35° C., flüſſigen Zuſtand und Berührung mit der Luft. Die Oxydirung ſelbſt vermitteln gewiſſe organiſche Körper, wie z. B. Ferment, ſchon gebildeter Eſſig u. dgl., auch fein zertheiltes Platin. Während dieſer Gährung wird die Maſſe trübe und bedeckt ſich mit einer kahmigen Haut. Wenn ſie ſich wieder geklärt hat, beſitzt ſie keine berauſchende Eigenſchaft mehr, ſchmeckt nicht mehr geiſtig, ſondern ſauer, kurz ſie iſt Eſſig geworden.

Der chemiſche Verlauf bei der Eſſiggährung iſt, wie Liebig gezeigt hat, folgender: Der Alkohol nimmt 2 Atome Sauerſtoff aus der Luft auf,

die ſich mit 4 Atomen ſeines Waſſerſtoffes zu Waſſer verbinden. Dadurch geht der Alkohol ($C_4 H_{12} O_2$) in Aldehyd ($C_4 H_8 O_2$) über. Dieſer Stoff verbindet ſich nun mit 2 Atomen Sauerſtoff aus der Luft, und ſo entſteht Eſſigſäurehydrat ($C_4 H_8 O_4$). Die Formel der waſſerfreien Eſſigſäure iſt $C_4 H_6 O_3$. Es erfolgt alſo der Uebergang des Alkohols in Eſſigſäure nicht unmittelbar, ſondern erſt mittelſt des Aldehyds, das vorher gebildet werden muß. Daraus kann man erſehen, daß die Eſſigerzeugung nur bei gehörigem Zutritte atmoſphäriſcher, und Abfluß der des Sauerſtoffes beraubten Luft gehörig vor ſich gehen kann, indem bei mangelhaftem Luftzutritte nur der erſte Schritt erfolgt, d. i. nur Aldehyd entſteht, welches, wenn es nicht im Momente ſeiner Entſtehung Sauerſtoff vorfindet, um alſogleich in Eſſigſäure überzugehen, verflüchtiget wird. Es iſt nämlich der Siedepunct des waſſerfreien Aldehyds nur 22° C., jener der Miſchung deſſelben mit 3 Theilen Waſſer 37° C., und bei 30° C. geht die Eſſigbildung am raſcheſten vor ſich. Wird aber der Flüſſigkeit das Aldehyd entzogen, ſo verhält ſich die Sache gerade ſo, als ob urſprünglich kein Alkohol vorhanden geweſen wäre, das Material zur Eſſigbildung iſt verloren gegangen, und der Rückſtand geht in Fäulniß über.

Die Kette der Stoffe, wozu das Aldehyd und die Eſſigſäure gehören, gibt zur Aufſtellung eines beſonderen Radicals, des Acetyls $C_4 H_6$ Veranlaſſung. Man kennt bis jetzt kein erſtes Oxyd deſſelben im iſolirten Zuſtande, wohl aber das Hydrat deſſelben und dieſes iſt das Aldehyd. Eine höhere Oxydationsſtufe dieſes iſt die Aldehydſäure und acetylige Säure. Die Eſſigſäure iſt Acetylſäure, in welcher das Radical 3 Atome Sauerſtoff aufgenommen hat.

107. Viele organiſche Körper, beſonders die ſtickſtoffhaltigen, erleiden unter günſtigen Verhältniſſen noch eine andere Metamorphoſe, welche Fäulniß genannt wird, und deren Reſultat verſchieden ausfällt nach Maßgabe der faulenden Körper und der bei der Fäulniß obwaltenden Umſtände, insbeſondere je nachdem die atmoſphäriſche Luft mit ihrem Sauerſtoffgehalte daran Antheil nimmt oder nicht. Stickſtofffreie organiſche Körper bedürfen, um dieſe Metamorphoſe zu erleiden, die Berührung mit bereits in Fäulniß begriffenen Stoffen; ſtickſtoffhältige hingegen unterliegen derſelben in der Regel ſchon, ſobald ſie aufhören, dem lebenden Organismus anzugehören, vorausgeſetzt, daß die allgemeinen Bedingungen der Fäulniß vorhanden ſind, nämlich eine Temperatur nicht unter 10° C., am beſten von 20°—30° C., und Gegenwart von Waſſer. Die Erſcheinungen, welche dieſe Metamorphoſe begleiten, ſind folgende: Der Körper ändert ſeine Farbe, wird fahl, bleich und zuletzt gar gelbbraun, braun oder ſchwarz, ſein Zuſammenhang wird vermindert, er wird mürbe und zerfällt zuletzt in eine erdartige Maſſe; während des ganzen Vorganges entwickelt er meiſt übelriechende Gaſe. Iſt er mit der atmoſphäriſchen Luft in Berührung, ſo abſorbirt er Sauerſtoffgas und entwickelt dafür Kohlenſäuregas, Kohlenwaſſerſtoff, und wenn er Stickſtoff enthält, Ammoniak; falls er aber Schwefel oder Phosphor unter ſeinen Beſtandtheilen hat, auch Schwefel- oder Phosphorwaſſerſtoffgas. Zuletzt bleibt eine Maſſe zurück, die ſtickſtofffrei und kohlenſtoffreicher iſt, als der Körper vor der Fäulniß; ſie heißt Humus (Ulmin) oder Moder. Bei gehemmtem oder ganz abgeſperrtem Luftzutritte muß der in dem betreffenden Kör-

per enthaltene Sauerſtoff den ſonſt aus der Atmoſphäre hergenommenen erſetzen; im geſchloſſenen Raume, wie z. B. unter der Erde, können die frei gewordenen Verweſungsproducte nicht entweichen, ſondern werden zu Erdharz, Steinöhl u. dgl. condenſirt; aber auch hier iſt das Product der Metamorphoſe ein kohlenſtoffreicherer Körper als jener, der die Verweſung erlitten hat.

Wenn man die chemiſche Zuſammenſetzung des der Fäulniß unterworfenen Körpers mit jener des letzten Productes der Fäulniß vergleicht, ſo kann man daraus auf den Hergang während der Metamorphoſe ſchließen. Z B. die chemiſche Zuſammenſetzung der trockenen Holzfaſer wird durch $C_{36}H_{48}O_{24}$ ausgedrückt, jene des Humus oder Ulmins als des Rückſtandes ihrer Fäulniß unter Luftzutritt durch $C_{30}H_{24}O_{12}$. Die Erfahrung lehrt aber, daß bei der Fäulniß der Holzfaſer in einer Sauerſtoffatmoſphäre ein Theil Sauerſtoff ohne Aenderung des Volums durch Kohlenſäure erſetzt wird. Denkt man ſich demnach von der Holzfaſer H_{24} hinweggenommen und mit O_{12} der atmoſphäriſchen Luft zu Waſſer verbunden, ſo müſſen ſich zugleich C_6 und O_{12} zu Kohlenſäure verbunden haben. Läßt man nun $H_{24}O_{12}$ und C_6O_{12}, d. i. Waſſer und Kohlenſäure von $C_{36}H_{48}O_{24} + O_{12}$ hinweg, ſo bleibt $C_{30}H_{24}O_{12}$, die Formel für das Ulmin. Demnach beſteht die Fäulniß der Holzfaſer an der Luft in der Abſcheidung eines Theiles Waſſerſtoff unter Bildung von Waſſer, und eines Theiles Kohlenſtoff und Sauerſtoff in der Form von Kohlenſäure. Die Producte dieſer Metamorphoſe ſind demnach Waſſer, Kohlenſäure und Humus oder Moder. Die im Schooße der Erde vergrabenen mächtigen Lager von Braun- und Steinkohlen ſind höchſt wahrſcheinlich Producte der ohne Luftzutritt vor ſich gegangenen Fäulniß der Holzfaſer, und es läßt ſich durch Vergleichung der Zuſammenſetzung letzterer mit jener der genannten Kohlen auf ihren Bildungsproceß ſchließen.

108. Die größere oder geringere Leichtigkeit, mit welcher ein organiſcher Körper Metamorphoſen erleidet, hängt von ſeiner chemiſchen Zuſammenſetzung ab. Ein Stoff, der aus Atomen beſteht, die ſelbſt nur zwei Elemente enthalten, wie z. B. Kohlenwaſſerſtoff, kann natürlich ohne Ausſcheidung eines Elementes nur eine Art Metamorphoſe erleiden; ein ſolcher, deſſen Atome aus mehreren Elementen beſtehen, iſt ſchon mehrerer Metamorphoſen fähig. Dieſe folgen aber in einer feſt beſtimmten Ordnung auf einander, und man kann wohl in der Regel bei jeder Metamorphoſe ſtehen bleiben und den Eintritt der folgenden hindern, nicht aber die Ordnung ihrer Aufeinanderfolge umkehren. So z. B. muß ſich Stärke, die zur Eſſigerzeugung verwendet werden will, erſt in Gummi, dieſes in Zucker, dieſer in Alkohol verwandeln, und erſt wenn der Alkohol in Aldehyd übergegangen iſt, kann die Eſſigſäure gebildet werden Die Mittel, durch welche man dem Fortſchreiten von einem Zuſtande zu einem folgenden in der Reihe der Metamorphoſen Einhalt thun kann, beſtehen darin, daß man den Stoff, den man in bleibendem Zuſtande erhalten will, mit geeigneten Körpern in Berührung bringt (ſ. 104 Anmerkung), hauptſächlich aber in der Entfernung der Umſtände, an welche als weſentliche Bedingungen das Eintreten der Metamorphoſe, die man verhüten will, gebunden iſt.

Da die Wichtigkeit der in das praktiſche Leben tief eingreifenden Chemie täglich mehr hervortritt, ſo werden hier noch die vorzüglichſten Quellen genannt, aus welchen der Anfänger ſtufenweiſe weitere Belehrung ſchöpfen kann. Sie ſind: Wöhler, Grundriß der Chemie, 2 Theile. Berlin 1840. Spécz, Grundriß der techniſchen Chemie. Wien 1837. Koehler, die Chemie in techniſcher Beziehung. Berlin 1844. Runge, Einleitung in die techniſche Chemie. Berlin 1836. Deſſelben techniſche Chemie der nützlichſten Metalle. Berlin 1838—1839. C. G. Gmeliin, Einleitung in die Chemie. Tübingen 1835—1837. Mitſcherlich, Lehrbuch der Chemie, 4te Aufl. Berlin 1841 (unvollendet). Geiger's Handbuch der Chemie, 5te Aufl., bearbeitet von J. Liebig. Heidelberg 1843—1844. Graham's Lehrbuch der Chemie, bearbeitet von Otto. Braunſchweig 1840. Handbuch der Chemie von L. Gmelin. 4te Aufl. Heidelberg 1843 (noch unvollendet). Berzelius, Lehrbuch der Chemie. 5te Aufl. Dresden 1843 (noch unvollendet).

Zweiter Abſchnitt.

Gleichgewicht der Kräfte (Statik).

109. Bei der Erklärung des inneren Verlaufes der Erſcheinungen der Körperwelt werden wir zuletzt zur Annahme von Kräften geführt, deren allgemeiner Charakter darin beſteht, daß ſie eine Bewegung wirklich hervorbringen oder doch hervorzubringen ſuchen (17). Jede ſolche Kraft hat zwar eine eigene Wirkungsweiſe, doch gibt es allgemeine Geſetze, an welche alle Kräfte gebunden ſind, und die man kennen muß, wenn man es in der Kenntniß der Erſcheinungen zur Klarheit bringen will. Der Erfolg der Wirkſamkeit einer Kraft, die nicht durch eine andere Kraft oder einen Widerſtand, der dieſelbe Wirkung zur Folge hat wie eine Gegenkraft, aufgehoben wird, iſt Bewegung; wird ihre Wirkung gehemmt, ſo herrſcht Gleichgewicht. Die Lehre vom Gleichgewichte heißt Statik, die von der Bewegung Dynamik; beide zuſammen machen die Mechanik aus. Unter den bekannten Naturkräften ſpielen die Molecularkräfte und die Schwere die größte Rolle. Die durch erſtere bedingten Aggregationszuſtände modificiren aber häufig die Geſetze des Gleichgewichtes und der Bewegung der ſchweren Körper. Aus dieſem Grunde werden hier die Geſetze der letzteren, wie ſie ſich bei jeder der drei Hauptformen der Aggregation ausſprechen, beſonders behandelt, aber auch den Geſetzen des Gleichgewichtes und der Bewegung, welche bloß von Molecularkräften abhängen, beſondere Kapitel gewidmet.

Erſtes Kapitel.

Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte.

110. Wenn mehrere gleichartige Kräfte auf einen Punct nach verſchiedenen Richtungen wirken, ſo heben ſich dieſelben entweder gegenſeitig auf, ſo daß aus ihrem Zuſammenwirken keine Anregung zur Bewegung entſpringt, ſondern der Punct, wenn er völlig frei und ruhend gedacht wird, in ſeiner Ruhe verbleibt; oder es geht eine Anregung zur Bewegung hervor, in Folge welcher der Punct nach einer beſtimmten Richtung fortzuſchreiten ſtrebt. Letzterer Effect könnte ſtets

durch eine einzige, nach dieſer Richtung mit angemeſſener Stärke wirkende Kraft hervorgebracht werden, deren Wirkung alſo jener der vorhandenen Kräfte gleich iſt und ſomit denſelben ſubſtituirt werden darf. Dieſe Kraft wird die Reſultirende genannt, die Kräfte aber, welche ſie der Wirkung nach erſetzt, heißen die Componenten. Die Reſultirende mehrerer Kräfte finden, heißt dieſe Kräfte zuſammenſetzen; ſtatt Einer Kraft mehrere ihr gleichgeltende ſetzen, heißt die Kraft zerlegen.

111. Aus der Art, wie wir beim Meſſen der Kräfte zu Werke gehen (19), erhellet von ſelbſt, daß die Reſultirende ſolcher Kräfte, die nach derſelben Richtung an einem Puncte angebracht ſind, der Summe aller Kräfte gleich ſey und nach eben dieſer Richtung wirke. Treiben aber zwei Kräfte einen Punct nach gerade entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt die Reſultirende dem Unterſchiede der Kräfte gleich, und iſt nach der Richtung der größeren Componente gerichtet.

112. Es wirke eine Kraft P auf den Punct A (Fig. 7) nach der Richtung Ax, ferner ſey B ein anderer Punct in der Richtung Ax, der mit A ſo verbunden iſt, daß beide einander nicht genähert und nicht von einander weiter entfernt werden können. Werden nun in B zwei der Kraft P gleiche Kräfte P′ und — P′ nach den Richtungen Bx und BA wirkend angebracht; ſo wird dadurch an der Wirkung jener Kraft P nichts geändert, weil ſich die Kräfte P′ und — P′ ſelbſt aufheben. Allein auch die Kräfte P und — P′ heben ſich einander auf, weil ſie nur darauf hinwirken, die beiden Puncte A und B einander zu nähern, dieſes aber nicht bewerkſtelliget werden kann. Es iſt demnach die Wirkung der Kraft P auf B dieſelbe, wie jene derſelben Kraft auf A, d. h. man kann eine Kraft, ohne daß ihr Effekt geändert wird, auf jeden in ihrer Richtung liegenden Punct wirken laſſen, wenn dieſer nur mit dem urſprünglichen Angriffspuncte der Kraft unveränderlich verbunden iſt.

113. Wenn die Richtungen zweier Kräfte P und Q einen Winkel einſchließen, ſo können ſie einander nicht aufheben. Denn es ſey A (Fig. 8) der Angriffspunct, Ax die Richtung der Kraft P, Ay die der Kraft Q, und man ſetze, dieſe Kräfte heben einander auf. Verlängert man xA nach z und denkt ſich nach der Richtung Az eine der P entgegengeſetzte Kraft R angebracht; ſo iſt dieſe Kraft die Reſultirende von allen drei Kräften, ihre Größen mögen wie immer beſchaffen ſeyn, alſo auch, wenn R = P iſt. In letzterem Falle kann man aber, weil auch P und R einander aufheben, Q als die Reſultirende von P, Q und R betrachten. Es müßte daher von den zwei Kräften Q und R die eine genau das leiſten, was die andere leiſtet, welches abſurd iſt. Es heben daher die Kräfte P, Q einander nicht auf, ſondern ſie haben eine Reſultirende. Die Richtung derſelben fällt in die Ebene des Winkels xAy zwiſchen Ax und Ay: denn es iſt kein Grund vorhanden, warum dieſe Richtung mehr auf der einen, als auf der andern Seite außerhalb genannter Ebene liegen ſollte.

114. Es wirke die Kraft P auf den Punct A (Fig. 8) nach der

Richtung Ax. Wird nun eine zweite auf den Punct A wirkende und mit Ax einen Winkel einſchließende Kraft Q nach der Richtung Ay hinzugedacht, ſo beſteht deren Wirkung offenbar darin, die Bewegung des Punctes A oder doch das Beſtreben deſſelben von der Richtung Ax in eine zwiſchen Ax und Ay liegende Richtung zu bringen. Je größer nun Q gegen P iſt, deſto größer wird dieſe Ablenkung ſeyn, d. h. deſto näher wird die Reſultirende beider Kräfte der Ay liegen und einen deſto kleineren Winkel wird ſie mit ihr bilden.

115. Zwei auf einen Punct A (Fig. 9) unter dem Winkel xAy wirkende gleiche Kräfte P und P′ haben eine Reſultirende, deren Richtung den Winkel xAy halbirt; denn der Grund, welcher die Reſultirende der einen Kraft näher zu bringen vermöchte, müßte dieſes auch in Bezug auf die andere thun. Die Richtung dieſer Reſultirenden kann man durch Conſtruction finden. Stellen nämlich die Linien AB und AC die Größen der Kräfte P und P′ vor, welches der Fall iſt, wenn eben ſo AB = AC iſt, wie man P = P′ hat, und man conſtruirt das Parallelogramm ABDC und zieht die Diagonale AD; ſo halbirt dieſe den Winkel BAC und ſtellt demnach die Richtung der Reſultirenden der Kräfte P und P′ vor. Ein ſolches Parallelogramm, deſſen Seiten ſich verhalten wie die Kräfte, und deren Richtungen vorſtellen, heißt Kräftenparallelogramm. Daher iſt hiemit bewieſen, daß für den Fall von zwei gleichen Kräften die Richtung der Reſultirenden derſelben durch die Diagonale des Kräftenparallelogramms gegeben iſt.

116. Es ſeyen P und Q ungleiche aber commenſurable Kräfte, welche nach den Richtungen Ax und Ay (Fig. 10) auf den Punct A wirken, und man ſuche die Richtung ihrer Reſultirenden. Man ſetze ſtatt der Kraft P eine ihr gleiche Summe von Kräften p, p′, p″ ꝛc., ſo daß $P = p + p' + p'' + \ldots$ iſt. Iſt nun Az die Richtung der Reſultirenden von Q und p, ſo kann man in ihr was immer für einen Punct B annehmen und dahin den Angriffspunct dieſer Reſultirenden verſetzen. Weil aber dieſe dieſelbe Wirkung hat wie die Kräfte Q und p, ſo kann man ſie in Q und p zerlegen; zieht man daher Bx′ mit Ax und By′ mit Ay parallel, ſo iſt es einerlei, ob Q und p nach den Richtungen Ay und Ax auf A oder nach den Richtungen By′ und Bx′ auf B wirken. Man verlängere nun By′ nach C und verſetze dahin den Angriffspunct der Kraft Q. Eben dahin kann man aber auch den Angriffspunct der zunächſt auf A in der Richtung Ax wirkenden Kraft p′ verſetzen, ſo daß demnach C der Angriffspunct von Q und p′ iſt. Es ſey nun wieder Cz′ die Richtung der Reſultirenden dieſer zwei Kräfte und man kann den Angriffspunct derſelben in jenen Punct der Cz′ verſetzen, wo dieſe Linie die Bx′ ſchneidet, nämlich in D. Eben dahin kann man aber auch den Angriffspunct der Kraft p bringen, wornach D der gemeinſchaftliche Angriffspunct der Kräfte Q und $p + p'$ oder ihrer Reſultirenden iſt. Demnach muß D ein Punct in der Richtung dieſer Reſultirenden ſeyn und dieſe ſelbſt die Richtung AD haben. Man denke ſich weiters in D die Kräfte $p + p'$ nach Dx′ und die Kraft Q

6 *

in der mit A y parallelen Richtung D y″ wirkend und verlängere D y″ nach E, wo ſie die A x ſchneidet. Da nun E ein Punct in der Richtung der Kraft Q iſt, ſo kann man dahin ihren Angriffspunct verſetzt denken Eben dahin läßt ſich auch der Angriffspunct der Kraft p″ verſetzen, ſo daß demnach auf E die zwei Kräfte Q und p″ wirken. Es ſey E z″ die Richtung ihrer Reſultirenden und F jener Punct derſelben, wo ſie die B x′ ſchneidet. Dieſen Punct F kann man ſomit als Angriffspunct der Kräfte Q und p″ anſehen. Aber auch jener der Kräfte p + p′ läßt ſich von D aus dahin verſetzen und ſomit F als gemeinſchaftlicher Angriffspunct der Kräfte Q und p + p′ + p″ oder ihrer Reſultirenden erkennen. F muß demnach ſelbſt in der Richtung dieſer Reſultirenden liegen und ſomit dieſe Richtung ſelbſt A F ſeyn. Man ſieht leicht, wie ſich dieſes Räſonnement weiter fortſetzen läßt. Verlängert man B D bis H, wo ſie die A y ſchneidet. ſo erſcheinen ſowohl die Linien A B, C D, E F, als A D und A F als Diagonalen von Parallelogrammen, deren Seiten denſelben Winkel einſchließen, unter welchem die Richtungen der Kräfte gegen einander geneigt ſind. In welchem Verhältniſſe die Seiten dieſer Parallelogramme zu einander ſtehen, läßt ſich aber erſt darthun, wenn man für die Kräfte p, p′, p″ und ihr Verhältniß zu Q beſtimmte Vorausſetzungen macht.

Es ſey $p = p' = p'' = p''' \ldots = Q$, mithin $P = nQ$, wo n eine ganze Zahl bedeutet Dieſes vorausgeſetzt halbiren die Linien A B, C D, E D die Winkel C A H, E C B, G E D, und es ſind die Parallelogramme C A H B, E C B D, G E D F gleichſeitig, und daher $AC = CE = EG = AH$ und $AE = 2AH$; $AG = 3AH$. Demnach iſt A D, welche die Richtung der Reſultirenden der Kräfte Q und $p + p'$ vorſtellt, für welche man hat $Q : p + p' = 1 : 2$, die Diagonale des Parallelogrammes, für welches man hat $AH : AE = 1 : 2$. Eben ſo iſt A F die Richtung der Reſultirenden von den Kräften Q und $p + p' + p''$, die ſich verhalten wie $1 : 3$ und zugleich die Diagonale des Parallelogrammes A G F H, wo $AH : AG = 1 : 3$ iſt u. ſ. f. Es wird demnach für Kräfte, deren eine ein Vielfaches der andern iſt, die Richtung der Reſultirenden durch die Diagonale des Kräftenparallelogrammes angezeigt.

Es ſey ferner $p = p' = p'' \ldots = \frac{Q}{n}$. Da ſind nun A B, C D, E F die Richtungen der Reſultirenden der Kräfte Q und p, Q und p′, Q und p″, für welche man hat $Q : p = Q : p' = Q : p'' = n : 1$ und zugleich die Diagonalen der Parallelogramme, für welche die Proportionen $AH : AC$ oder $CB : CE$ oder $ED : EG = n : 1$ gelten, woraus dann folgt $AC = CE = EG$. Da iſt nun $AH : AE = n : 2$, $AH : AG = n : 3$ u. ſ. f., alſo A D die Diagonale eines Parallelogrammes, deſſen Seiten ſich verhalten wie $n : 2$; A F die Diagonale eines ſolchen, deſſen Seiten im Verhältniſſe $n : 3$ ſtehen Aber A D iſt zugleich die Richtung der Reſultirenden der Kräfte Q und $p + p'$, für welche gilt $Q : p + p' = n : 2$, A F die Richtung der Reſultirenden der Kräfte Q und $p + p' + p''$, für welche man hat $Q : p + p' + p'' = n : 3$.

Somit ſind auch hier A E D H und A G F H Kräftenparallelogramme, und der obige Satz über die Richtung der Reſultirenden iſt auch für Kräfte erwieſen, die Vielfache einer gemeinſchaftlichen Einheit, d. h. commenſurabel ſind.

117. Es ſey A (Fig. 11) der Angriffspunct der zwei incommenſurablen Kräfte P und Q, deren Richtungen und Größen durch A B und A C vorgeſtellt werden, und man nehme an, die Richtung ihrer Reſultirenden ſey eine andere als die der Diagonale A D des Parallelogramms A B D C, z. B. die der A E. Man ziehe durch E die mit C D Parallele E F und denke ſich A B in gleiche Theile getheilt, deren jeder kleiner iſt als F C, ſo daß, wenn ſie von A aus auf A C übertragen werden, ein Theilungspunct zwiſchen F und C nach G falle. Denkt man ſich nun mit P zugleich ſtatt der Kraft Q eine Kraft auf A nach der Richtung A C wirkend, deren Größe durch A G dargeſtellt werde; ſo muß, da A G und A B commenſurabel ſind, ihre Reſultirende die Richtung der Diagonale A H haben, wenn G H mit A B parallel gezogen worden iſt. Es kann aber wegen A C = A G + G C die Reſultirende der Kräfte A B, A C auch als die Kraft betrachtet werden, welche aus dem Zuſammenwirken der Kräfte A B, A G, G C hervorgeht, die Richtung dieſer Reſultirenden muß demnach zwiſchen A H und A C fallen, und kann alſo nicht A E ſeyn. Dasſelbe läßt ſich auf gleiche Weiſe für jeden andern Punct außer D zeigen, und ſomit kann die Reſultirende keine andere Richtung haben, als die der Diagonale A D von A B D C. Es iſt demnach bezüglich der Richtung der Reſultirenden der Satz für gleiche ſowohl, als für ungleiche commenſurable und incommenſurable Kräfte erwieſen, hat alſo allgemeine Giltigkeit.

118. Die Reſultirende der Kräfte P und Q wird der Größe nach durch die Länge der Diagonale des Parallelogrammes der Kräfte vorgeſtellt. Es ſeyen A B und A C (Fig. 12) die Kräfte P und Q, A D die Richtung ihrer Reſultirenden, R ihre Größe, A E die Größe und Richtung einer Kraft R′, welche der Kraft R gleich und entgegengeſetzt iſt. Da iſt nun offenbar zwiſchen den Kräften P, Q und R′ Gleichgewicht. Conſtruirt man mit A E und A C das Parallelogramm A E F C, ſo iſt A F die Richtung der Reſultirenden S von A E und A C, und es muß auch zwiſchen P und S Gleichgewicht herrſchen, d. h. es muß F A B eine gerade Linie ſeyn. Man hat daher E A F = B A D, ferner iſt F E A = A D B, E F = B D, mithin auch A E = A D. Aber es iſt A E = R, mithin auch A D = R.

119. Da alle Elemente eines Parallelogrammes in dem von zwei Seiten und der Diagonale deſſelben gebildeten Dreiecke enthalten ſind; ſo reduciren ſich auch alle Fragen über die Zuſammenſetzung zweier auf einen Punct wirkender, einen Winkel einſchließender Kräfte auf die Auflöſung eines Dreieckes. In dem Parallelogramme A B D C (Fig. 12) ſtellen nämlich A B und B D = A C, nebſt A D die zwei Seitenkräfte und deren Reſultirende vor, und B A D und B D A = C A D ſind die Winkel, welche die Reſultirende mit den Seitenkräften einſchließt, A B D aber das Supplement des Winkels B A C, den die Kräfte ſelbſt

einſchließen. Man braucht demnach von den Winkeln und den Seiten des Dreieckes nur drei Stücke, darunter eine Seite zu kennen, um das übrige zu finden. Sind P und Q die Seitenkräfte, R ihre Reſultirende und m der von ihnen eingeſchloſſene Winkel, ferner x der Winkel, den die Kraft P, y jener, den die Kraft Q mit der Reſultirenden einſchließt, ſo hat man $R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos. m$; $P : R = \sin. y : \sin m$; $Q : R = \sin. x : \sin m$.

120 Mit Hülfe des vorhin bewieſenen Lehrſatzes kann man nicht bloß von zwei, ſondern auch von mehreren Kräften, die einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct haben und nach verſchiedenen Richtungen wirken, die Reſultirende finden. Wären z. B. P, P′, P″ die Kräfte (Fig. 13), A ihr Angriffspunct, AB, AC, AD ihre Richtungen und Größen; ſo ziehe man BF der AC parallel und gleich, eben ſo FG der AD parallel und gleich, und es iſt AG die Reſultirende aller gegebenen Kräfte.

121. Durch ein umgekehrtes Verfahren kann man jede Kraft in eine beliebige Anzahl von Kräften zerlegen, die ihr zuſammen an Wirkung gleich kommen. Um nämlich eine Kraft zunächſt in zwei Kräfte zu zerlegen, darf man ſie nur als Diagonale eines Parallelogramms betrachten; die in dem Angriffspuncte derſelben zuſammenſtoßenden Seiten des Parallelogramms geben die Richtungen und Größen der geſuchten Kräfte an. Hiebei ſind die Richtungen oder die Größen beider Kräfte oder die Richtung der einen und die Größe der andern, innerhalb gewiſſer, durch die Möglichkeit, das Parallelogramm zu verzeichnen, bedingter Grenzen willkürlich und können daher nach Belieben gewählt werden. Indem man mit jeder der gefundenen Kräfte wieder ſo verfährt, zerlegt man erſtere in jede beliebige Anzahl von Kräften.

122 Mit Hülfe der ſo eben erwieſenen Sätze kann man auch die Zuſammenſetzung von Kräften bewerkſtelligen, die in derſelben Ebene wirken und verſchiedene Angriffspuncte haben, wenn dieſe Puncte nur unveränderlich mit einander verbunden ſind. Es ſeyen A und B (Fig. 14) die Angriffspuncte der nach den divergirenden Richtungen Ax, By wirkenden Kräfte P und Q. Man verlängere die Linien Ax, By bis ſie ſich in C ſchneiden, verſetze den Angriffspunct jeder der Kräfte dahin, nehme die Stücke CD, CE ſo an, daß $CD : CE = P : Q$ erſcheint, conſtruire das Parallelogramm CDFE; ſo iſt CF der Reſultirenden von P und Q proportional. Da iſt nun $P : Q = CD : CE = \sin. FCE : \sin. FCD$, aber zugleich $GK : GH = \sin. FCE : \sin. FCD$, mithin $P : Q = GK : GH$. Man kann daher ſagen: Die Kräfte P und Q verhalten ſich verkehrt wie die Senkrechten GH, GK, welche von irgend einem Puncte G der Reſultirenden auf die Richtungen dieſer Kräfte gezogen werden.

123. Sind P und Q zwei nach parallelen Richtungen und nach derſelben Gegend hin wirkende Kräfte, A und B (Fig. 15) ihre unveränderlich verbundenen Angriffspuncte, AC und BD ihre Richtungen und Größen; ſo kann man ohne Aenderung des Effectes in A und B zwei andere gleiche und entgegengeſetzte Kräfte, deren

Richtungen Verlängerungen der Verbindungslinie A B ihrer Angriffspuncte ſind, anbringen. Sind A E und B F dieſe Kräfte, ſo ſetze man A E mit A C, B F mit B D zuſammen, und ſtelle, indem man die Parallelogramme A E G C und B F H D conſtruirt, ihre Reſultirenden A G und B H dar. Verlängert man die Geraden A G, B H bis ſie ſich ſchneiden; ſo kann ihr Durchſchnittspunct K, in ſo fern er mit A und B unveränderlich verbunden gedacht wird, den gemeinſchaftlichen Angriffspunct der Kräfte A C, A E und B D, B F vorſtellen. Nimmt man nämlich $KL = AG$, $KM = BH$, und zieht K x parallel mit A C, y K z parallel mit A B; ſo kann man K L in die Kräfte $KO = AE$ und $KN = AC$ und eben ſo K M in $KS = BF$ und $KR = BD$ zerlegen. Da aber K O und K S ſich als gleiche und entgegengeſetzte Kräfte aufheben, ſo bleibt als Reſultirende $KN + KR = P + Q$. Sie iſt daher gleich der Summe der gegebenen Kräfte und wirkt mit ihnen parallel. Zur Beſtimmung ihrer Richtung hat man wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke A E G und A T K, dann der Dreiecke B F H und B T K

$AE : EG = AT : TK$, $BF : FH = BT : TK$, mithin
$EG : FH = BT : AT$, d. i. $P : Q = BT : AT$.

Die Richtung der Reſultirenden theilt daher die Verbindungslinie A B der Angriffspuncte in zwei Theile, die mit den Kräften im verkehrten Verhältniſſe ſtehen.

Da die Beſtimmung des Punctes T unabhängig von dem Winkel erfolgte, den P und Q mit A B machen; ſo muß dieſer Punct derſelbe bleiben, wenn ſich die Richtungen von P und Q ohne Aenderung des Parallelismus um ihre Angriffspuncte drehen. Deßhalb heißt der Punct T der **Mittelpunct** der parallelen Kräfte.

124. Es iſt für ſich klar, daß man durch dieſes Verfahren von mehreren parallelen und gleich gerichteten Kräften die Reſultirende finden könne. Man darf hier nur zuerſt für zwei dieſer Kräfte die Reſultirende ſuchen, dann die Reſultirende für die ſo eben gefundene und die dritte gegebene Kraft, deren Reſultirende man eben ſo mit der vierten Kraft, wenn eine ſolche vorhanden iſt, combinirt u. ſ. w. Die letzte Reſultirende wird offenbar die Reſultirende aller gegebenen Kräfte und zwar der Summe dieſer Kräfte gleich ſeyn. Betrachtet man den Mittelpunct je zweier Kräfte als den Angriffspunct ihrer Reſultirenden, ſo iſt der letzte ſo erhaltene Mittelpunct auch der **Mittelpunct des ganzen Syſtems** der gegebenen Kräfte, d. h. er beſitzt die Eigenſchaft, daß die Richtung der Reſultirenden aller gegebenen Kräfte ſtets durch ihn geht, wenn man auch den Richtungen dieſer Kräfte, ohne Aenderung der Angriffspuncte, andere parallele Lagen ertheilt. Nicht minder klar iſt es, daß man auch umgekehrt jede gegebene Kraft in jede beliebige Anzahl paralleler, nach derſelben Gegend gerichteter Kräfte auflöſen könne, deren Summe der gegebenen Kraft gleich iſt.

125. Wirken die Kräfte P und Q einander parallel, aber nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt ihre **Reſultirende gleich ihrem Unterſchiede**, wirkt mit der größeren Kraft nach einerlei

Gegend, und ihre Richtung ſchneidet die Verbindunglinie der Angriffspuncte der Kräfte nach demſelben Verhältniß, wie im vorhergehenden Falle. Es ſeyen (Fig. 16) A x und B y die Richtungen der Kräfte P und Q, A und B ihre Angriffspuncte, und es werde $P < Q$ vorausgeſetzt. Man kann ſich Q in zwei Kräfte zerlegt denken, wovon eine P′, deren Richtung A x′ ſey, der P gleich und entgegengeſetzt iſt, während die andere, die R heißen mag und deren Größe und Angriffspunct noch unbekannt iſt, in C angebracht ſey und längs C z mit Q parallel wirke. Da ſich P und P′ aufheben, ſo bleibt nur die Kraft R übrig; dieſe iſt daher die Reſultirende der Kräfte P, Q, und man hat $Q = P + R$ oder $R = Q - P$. Da $P : R = BC : AB$ (123), und daher $P : P + R = BC : BC + AB$, mithin $P : Q = BC : AC$ iſt; ſo gilt auch hier das obige Geſetz der Lage des Angriffspunctes der Reſultirenden. Auch da iſt C unabhängig von der Neigung der Kräfte gegen A C, mithin wieder ein Mittelpunct der Kräfte.

Wenn $P = Q$ iſt, kann die Reſultirende weder die Richtung der einen, noch die Richtung der andern Kraft haben, weil zu beiden kein Grund vorhanden iſt. In dieſem Falle kann es daher keine Reſultirende geben. Dieſes folgt auch aus Obigem; denn es wird, wenn $P = Q$ iſt, $R = Q - P = o$, mithin wegen $P : R = BC : AB$ auch

$$P : o = BC : AB, \text{ d. i. } BC = \frac{P \,.\, AB}{o} = \infty$$

Um dieſes Reſultat zu verſtehen, muß man erwägen, daß der Punct C um ſo weiter hinausrückt, je weniger die Kräfte P, Q von einander verſchieden ſind, d. h je kleiner R wird. Für $P = Q$ rückt er alſo in das Unendliche hinaus.

126. Das Product aus einer Kraft in die Senkrechte, die aus einem gegebenen Puncte auf die Richtung dieſer Kraft gezogen worden, heißt ihr Moment in Beziehung auf dieſen Punct Liegt der Punct, worauf das Moment bezogen wird, in der Richtung der Reſultirenden zweier Kräfte, ſo ſind ihre Momente einander gleich; denn für Kräfte, deren Richtungen nicht parallel ſind, wie in Fig. 14, ſie mögen nun einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct haben oder nicht, iſt in Bezug auf jeden Punct G der Richtung der Reſultirenden immer

$$P \,.\, GH = Q \,.\, GK \quad (122).$$

Sind die Kräfte parallel, wie in 123 angenommen wurde, ſo gilt für ſie dasſelbe Geſetz; denn es ſeyen P und Q zwei ſolche Kräfte, A und B (Fig. 17) ihre Angriffspuncte, A x und B y ihre Richtungen, und die Richtung der Reſultirenden, welche A B in C ſchneidet, ſey C z. Iſt nun H ein Punct, worauf man die Momente der Kräfte bezieht, ſo ziehe man H I, H K auf A x und B y ſenkrecht, ferner L M durch H mit A B parallel, und man hat:

$$P : Q = BC : AC = HM : HL,$$

ferner wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke L H I, K H M,

$$HM : HL = HK : HI, \text{ mithin}$$

$$P : Q = HK : HI \text{ oder } P \,.\, HI = Q \,.\, HK.$$

127. Man kann dieſen Satz auch umkehren und zeigen, daß ein innerhalb des Winkels der Richtungen zweier Kräfte befindlicher Punct,

für den die Momente der Kräfte gleich ſind, in der Richtung ihrer Reſultirenden liegen muß. Es ſeyen nämlich P und Q zwei Kräfte (Fig. 18), A und B ihre Angriffspuncte, Ax und By ihre nicht parallelen Richtungen, und es werde vorausgeſetzt, daß für den Punct E, wovon auf Ax und By die Senkrechten EF und EG gezogen ſind

$$P \,.\, EF = Q \,.\, EG$$

ſey. Soll die Reſultirende der zwei Kräfte P und Q nicht durch E gehen, ſo gehe ſie durch H. Man verlängere xA und yB, bis ſie ſich in K ſchneiden, ziehe KH, welche die Richtung der Reſultirenden der Kräfte P, Q ſeyn wird, ferner HL ſenkrecht auf Kx, uud man hat $P \,.\, HL = Q \,.\, HG$ (126). Aus dieſer Gleichung und aus der Vorausſetzung folgt $EF : HL = EG : HG$; es müßten daher die Dreiecke EFG, HLG, deren bei E und H liegende Winkel gleich ſind, einander ähnlich ſeyn, und deßhalb wären auch die Winkel FGE, LGE gleich, welches abſurd iſt.

Sind aber die Richtungen der Kräfte P, Q einander parallel, iſt ferner H (Fig. 17) ein Punct von der Eigenſchaft, daß die Gleichung $P \,.\, HI = Q \,.\, HK$ beſteht, ſo geht die Richtung der Reſultirenden genannter Kräfte durch H; denn ginge ſie durch den Punct H′ der IK, ſo wäre auch $P \,.\, H'I = Q \,.\, H'K$, mithin $HI : H'I = HK : H'K$, was ungereimt iſt, weil $HI < H'I$ und zugleich $HK > H'K$ iſt.

Die Lehre von der Zuſammenſetzung der Kräfte hat ihre Ausbildung erſt im Verlaufe des vorigen Jahrhunderts erhalten. Newton hat in ſeinem unſterblichen Werke Philosophiae naturalis principia mathematica, das 1686 erſchien, die Vortheile angedeutet, welche die Statik daraus ziehen kann, und Varignon hat gleichzeitig die Bearbeitung dieſes Gegenſtandes vorgenommen. Die Theorie der Momente der Kräfte rührt von Varignon her.

Zweites Kapitel.

Theorie der Schwere.

128. Unter allen Naturkräften ſpielt keine eine größere Rolle, als die Schwerkraft; deßhalb ſollen auch ihre Geſetze zuerſt aus den allgemeinen Geſetzen der Kräfte überhaupt abgeleitet werden. Bekanntlich gehört dieſe Kraft in die Claſſe der anziehenden Kräfte, und iſt jedem materiellen Theilchen eigen (39). Aus den Geſetzen der Bewegung der Himmelskörper hat Newton bewieſen, daß dieſe Kraft von der materiellen Verſchiedenheit der Körper ganz unabhängig iſt, und allein im geraden Verhältniſſe mit der Maſſe ſowohl des anziehenden wie auch des angezogenen Körpers, im verkehrten mit dem Quadrate der Entfernung beider zunimmt. Die Rechtfertigung dieſer Wahrheit kann erſt ſpäter gegeben werden; wir wollen dieſelbe hier einſtweilen vorausſetzen und die daraus fließenden Folgerungen betrachten. Iſt P die Kraft, welche die Maſſe M auf die Maſſe m in der Entfernung D ausübt, und eben ſo P′ die Kraft, welche zwiſchen den Maſſen M′ und m′ in der Entfernung D′ herrſcht; ſo hat man dem ſo eben ausgeſproche-

nen Satze gemäß: $P : P' = \frac{M m}{D^2} : \frac{M' m'}{D'^2}$. Setzt man hier $M' = 1$, $m' = 1$, $D' = 1$ und $P' = p$, wobei alſo p die Kraft anzeigt, welche zwiſchen zwei Maſſen, deren jede $= 1$ iſt, in der Entfernung 1 beſteht, ſo hat man $P = p \cdot \frac{M m}{D^2}$. In dieſer Gleichung bedeuten jedoch M und m Maſſen von ſo geringer Ausdehnung, daß es gleichgültig iſt, zwiſchen welchen ihrer Puncte man die Entfernung D mißt; ſie können alſo an und für ſich nur in materiellen Puncten oder Elementartheilchen (Atomen oder Molekeln) enthalten gedacht werden, wenn das Reſultat der Rechnung nach dieſem Ausdrucke ganz ſcharf ſeyn ſoll. Hat daher entweder die anziehende oder die angezogene Maſſe, oder beide eine angebbare Ausdehnung, ſo muß man die Kraft, womit jeder Punct jeden andern afficirt, mittelſt dieſer Formel ausdrücken und den Totaleffect aller dieſer Kräfte beſtimmen.

129. Es ſey nun HK (Fig. 19) die Erde, A ein außerhalb derſelben befindlicher Punct, deſſen Maſſe = m iſt, und man ſoll die Anziehung finden, welche die Erde gegen denſelben ausübt. Theilen wir dieſe in Gedanken in unendlich kleine Theilchen μ, μ', μ'', . . . , deren Maſſen durch die nämlichen Buchſtaben bezeichnet werden ſollen, ſo erfährt der Punct A von denſelben nach den Richtungen $A\mu$, $A\mu'$, $A\mu''$, . . . die Anziehungen $p \cdot \frac{\mu \cdot m}{A\mu^2}$, $p \cdot \frac{\mu' \cdot m}{A\mu'^2}$, $p \cdot \frac{\mu'' \cdot m}{A\mu''^2}$, . . . wobei p die obige Bedeutung hat. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte gibt die Anziehung an, welche die geſammte Maſſe der Erde gegen den Punct A äußert. Iſt die Linie ACz ringsum ſymmetriſch von der Maſſe der Erde umgeben, ſo fällt die Richtung dieſer Totalkraft in genannte Linie. Dieſer Fall findet Statt, wenn die Erde entweder eine durchaus gleichförmig dichte Kugel iſt, oder wenn ſie wenigſtens in gleichen Abſtänden vom Centrum einerlei Dichte hat, d. h. aus concentriſchen Schichten beſteht, in deren jeder für ſich betrachtet einerlei Dichte herrſcht. Man kann überdieß noch durch Rechnung zeigen, daß die Anziehung der Erde unter der Vorausſetzung ihrer Kugelform und der genannten Anordnung ihrer Maſſe, welche Vorausſetzungen von der Wahrheit nicht ſtark abweichen und in den meiſten Fällen hinreichend genaue Reſultate gewähren, ſo erfolgt, als wäre ihre ganze Maſſe in ihrem Mittelpuncte vereiniget. Es wird daher jeder materielle Punct A, deſſen Maſſe = m iſt, gegen das Centrum der Erde hingezogen mit einer Kraft, welche durch den Ausdruck $p \cdot \frac{M m}{D^2}$ bezeichnet wird, worin M die Maſſe der Erde, und D die Entfernung des Punctes A vom Erdmittelpuncte andeutet. Was mit dem Puncte A erfolgt, geſchieht auch mit jedem andern nach Maßgabe ſeiner Maſſe und ſeiner Entfernung von dem Erdmittelpuncte Betrachtet man alſo die Wirkung der Erde auf einen Körper, d. h. auf ein Aggregrat von materiellen Puncten; ſo kann man ſich vorſtellen, als würde jeder derſelben mit einer ſeiner Maſſe direct und dem Quadrate ſeines Abſtan-

des vom Erdmittelpuncte verkehrt proportionalen Kraft nach dieſem Mittelpuncte hingezogen. Die Richtungen, nach welchen dieſe Puncte gezogen werden, convergiren zwar nach dem Centrum der Erde hin, allein wegen der bedeutenden Größe des Erdhalbmeſſers und der geringen Ausdehnung der Körper auf der Erde kann man ohne Fehler annehmen, daß alle dieſe Kräfte nach parallelen Richtungen wirken, und ſomit jeden ſchweren Körper als ein Syſtem von Angriffspuncten parallel wirkender Kräfte betrachten. Dieſe Kräfte ſind nur in ſofern für alle Puncte gleich groß, als dieſe eine gleiche Entfernung vom Centrum der Erde haben; doch dieſes iſt bei keinem Körper ſtreng genommen der Fall. Für die oberen Puncte iſt dieſe Entfernung ſtets größer als für die unteren, ja ſelbſt für die neben einander in horizontaler Richtung liegenden iſt ſie nicht gleich groß; allein hier kommt uns wieder die geringe Ausdehnung der gewöhnlichen Körper gegen die Größe der Erde gut zu Statten und erlaubt, alle Puncte eines Körpers von gewöhnlicher Ausdehnung als gleich weit vom Erdmittelpuncte entfernt anzunehmen, und ſich demnach vorzuſtellen, jeder Punct eines Körpers werde von parallelen und gleichen Kräften gegen das Centrum der Erde hingezogen. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte an einem Körper ſtellt deſſen Gewicht vor. Hieraus iſt leicht zu entnehmen, daß alle gleich weit von dem Centrum der Erde entfernten Körper gleich ſchwer, und daß die weiter davon entfernten leichter ſind, als die näheren. Befindet ſich ein Körper innerhalb der Erde, ſo wirken einige Theile derſelben einwärts, andere auswärts ziehend. Dadurch wird das vorhin aufgeſtellte Geſetz der Schwere geändert, und es wächſt dieſelbe nicht mehr im verkehrten quadratiſchen, ſondern im directen einfachen Verhältniſſe der Entfernung vom Mittelpuncte. Eigentlich ſollte man bei einer genauen Erwägung der Wirkungen der Schwerkraft dieſelben als das Reſultat einer gegenſeitigen Anziehung zwiſchen der Erde und den Körpern auf ihr anſehen, vermöge welcher die Erde eben ſo zu einem über ihr befindlichen Körper hin, als dieſer zur Erde hinab gezogen wird; allein auch dieſes erläßt uns die unbedeutende Größe der beweglichen Theile der Erde gegen ihre ganze Maſſe, und man kann, ohne einen Fehler befürchten zu dürfen, von der Wechſelſeitigkeit der Anziehung ganz abſehen.

130. Aus der Lehre von der Zuſammenſetzung paralleler Kräfte (123) erhellet, daß ſich in der Richtung ihrer Reſultirenden ſtets ein Punct befindet, durch den dieſelbe fortwährend hindurchgeht, wenn ſich die Richtungen ſämmtlicher Kräfte ohne Störung des Parallelismus um ihre Angriffspuncte drehen, welcher allen möglichen Richtungen der Reſultirenden gemeinſchaftliche Punct der Mittelpunct der parallelen Kräfte genannt wird Offenbar iſt es aber einerlei, ob man die Richtungen der Kräfte um die Angriffspuncte ſich drehen läßt, oder ob dieſe Richtungen ungeändert bleiben und das Syſtem der Angriffspuncte ohne Störung ihrer relativen Lage gedreht wird. Auch in dieſem Falle wird ſich der Mittelpunct als unveränderlicher Punct der Richtung der Reſultirenden kund geben. Letztere Betrachtungsweiſe

iſt auf die Schwere anwendbar, in ſofern der von ihr affizirte Körper ein feſter iſt, deſſen Theile ſtets dieſelbe relative Lage beibehalten. Man nennt den Mittelpunct der Schwerkräfte, die einen Körper beherrſchen, deſſen Schwerpunct. Obgleich die Möglichkeit der Zuſammenſetzung der Schwerkräfte, wie der auf verſchiedene Puncte wirkenden Kräfte überhaupt, durch den zwiſchen ihren Angriffspuncten obwaltenden feſten Zuſammenhang bedingt wird, ſo läßt ſich doch auch von dem Schwerpuncte eines Körpers oder eines Syſtems von Körpern ſprechen, deſſen Theile gar nicht in unveränderlicher Lage ſtehen. Man nimmt hier den Schwerpunct, ſo wie er ſich unter der Vorausſetzung ergeben würde, daß man es mit einem Inbegriffe materieller Puncte zu thun habe, die unveränderlich mit einander verbunden ſind, es iſt aber geſtattet dieſes zu thun, weil die Lage des Schwerpunctes bloß durch die Anwendung der Angriffspuncte und durch die auf ſie wirkenden Schwerkräfte beſtimmt wird.

Da die Schwerkräfte, welche den Theilen eines Körpers entſprechen, den Maſſen dieſer Theile proportionirt ſind, ſo kann man noch weiter gehen und den Schwerpunct eines Syſtems materieller Puncte betrachten, das in dem hier Statt findenden Sinne gar nicht ſchwer gedacht wird, z. B. den Schwerpunct des Syſtems gewiſſer Himmelskörper, oder bloß träger Maſſen u. dgl. Doch ſagt man in dieſem Falle lieber Mittelpunct der Maſſen. Man kann denſelben unabhängig von jeder Betrachtung von Kräften dadurch definiren, daß man feſtſetzt, der Mittelpunct zweier Maſſen, die man in Puncten concentrirt denkt, liege in der Verbindungslinie derſelben, und theile dieſe Linie im verkehrten Verhältniſſe der Maſſen; ferner daß der ſo eben erhaltene Mittelpunct mit der Summe der Maſſen begabt, als Stellvertreter der beiden Puncte betrachtet und eben ſo mit einem dritten Puncte combinirt werde u ſ w.

131. Man beſtimmt den Schwerpunct durch Verſuche und durch Rechnung. Hängt ein Körper ruhig an einem biegſamen Faden, ſo liegt ſein Schwerpunct offenbar in deſſen Verlängerung; denn der Charakter des Schwerpunctes beſteht ja eben darin, daß die Geſammtwirkung aller Krafte, welche die Erde gegen einen Körper ausübt, durch ihn gehe und demnach das ganze Gewicht dieſes Körpers in dieſem Puncte concentrirt ſey, die übrigen Puncte aber als ſchwerlos angeſehen werden können. Wird ein Körper hinter einander an zwei verſchiedenen, einander nicht gerade entgegengeſetzten Stellen an einem Faden befeſtiget aufhängt, und in beiden Lagen die Richtung des verlängerten Fadens an ihm angemerkt; ſo iſt der Durchſchnittspunct dieſer beiden Richtungen der Schwerpuuct des Körpers. Bei Körpern von gleichförmiger Dichte, die einen Mittelpunct der Symmetrie haben, muß der Schwerpunct in dieſem liegen, bei ungleichförmig dichten mehr gegen die dichteren Theile zu. Auf dieſe Weiſe wird meiſtens der Schwerpunct beſtimmt; man zieht ſie oft ſogar der Rechnung vor, weil dieſe eine Gleichheit der Dichte an Körpern vorausſetzt, welche in der Erfahrung ſelten Statt findet, und auch Kenntniſſe der Integralrechnung fordert. Indeſſen gibt es auch Elementarmethoden für einzelne Fälle.

Der Schwerpunct eines Dreieckes iſt eigentlich der aller ſchweren in ihm enthaltenen Puncte. Jeder Punct liegt aber in einer geraden Linie, welche mit einer der Seiten des Dreieckes parallel gezogen iſt, und alle in einer ſolchen Linie befindlichen Puncte haben ihren Schwerpunct in der Mitte dieſer Linie Alle Ha birungspuncte der mit einer Dreieckſeite parallelen Linien liegen wieder für ſich in einer geraden Linie. Zieht man daher im Dreiecke A B C (Fig. 20) A D und B E ſo, daß $BD = DC$ und $AE = EC$ iſt; ſo muß der Schwerpunct des Dreieckes ſowohl in A D als in B E, mithin in ihrem Durchſchnittspuncte F liegen. Zur näheren Beſtimmung dieſes Punctes ziehe man E D, und man hat wegen der Aehnlichkeit der Dreie.ke A F B mit E F D und E C D mit A C B

$AF : FD = AB : ED$, $AB : ED = AC : EC = 2 : 1$, mithin
$AF : FD = 2 : 1$ oder $AF : AD = 3 : 2$, d. i. $AF = \frac{2}{3} AD$.

Auf ähnliche Weiſe findet man den Schwerpunct einer dreiſeitigen Pyramide. Durch jeden Punct derſelben läßt ſich eine Ebene legen, die mit einer beliebigen der vier Grenzflächen der Pyramide parallel iſt, und letztere in einem Dreiecke ſchneidet. Der Schwerpunct eines jeden dieſer Dreiecke läßt ſich nach obiger Methode finden, und die Schwerpuncte aller parallelen Dreiecke liegen in einer geraden Linie. Iſt daher in der Pyramide (Fig 21) $AE = EC$ und $FB = \frac{2}{3} EB$, ſo liegt der Schwerpunct der ganzen Pyramide in D F. Aus demſelben Grunde liegt der Schwerpunct der Pyramide in B G, wenn $DG = \frac{2}{3} DE$ iſt, daher im Durchſchnitte H beider Linien. Man ziehe G F, ſo hat man, wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke G H F, D H B, dann der Dreiecke E G F, E D B; $DH : HF = DB : GF$, $DB : GF = DE : EG = 3 : 1$, mithin $DH : HF = 3 : 1$ und $DH : DF = 3 : 4$ oder $DH = \frac{3}{4} DF$.

Die Eigenſchaften des Schwerpunctes ſcheint Archimedes, unſtreitig der größte Geometer des Alterthums (geſt. im J 212 v. Chr.), entdeckt zu haben. Er leitete ſie aus dem Geſetze des Hebels ab, von dem im vierten Kapitel die Rede iſt.

Drittes Kapitel.

Gleichgewicht der feſten Körper überhaupt, der ſchweren insbeſondere.

132. Es iſt für ſich klar, daß Kräfte, die auf einen frei beweglichen Punct wirken, nur dann im Gleichgewichte ſtehen werden, wenn deren Reſultirende = 0 oder was eben ſo viel heißt, wenn jede dieſer Kräfte der Reſultirenden der übrigen gleich und entgegengeſetzt iſt. Soll aber beſagter Punct auf einer Fläche verbleiben, ſo iſt es zur Herſtellung des Gleichgewichtes hinreichend, wenn die Reſultirende aller Kräfte darauf ſenkrecht ſteht.

133. Ein frei bewegliches Syſtem unveränderlich mit einander verbundener Puncte ſteht unter derſelben Bedingung im Gleichgewichte, wie ein frei beweglicher Punct. Es wird dazu nämlich erfordert, daß wenn man eine der Kräfte von den übrigen abſondert, letztere ſich zu einer einzigen Kraft zuſammenſetzen laſſen, und daß dieſe erſterer gleich und entgegengeſetzt ſey. Iſt ein Punct dieſes Syſtems unbeweglich, ſo muß die Reſultirende aller Kräfte durch dieſen Punct gehen, ſtützt es ſich aber auf eine ebene oder krumme Fläche, längs welcher es hin-

gleiten kann, ſo ſind die Gleichgewichtsbedingungen verſchieden, je nachdem ſich das Syſtem und beſagte Fläche nur in einem oder in mehreren Puncten berühren. Geſchieht dieſes nur in einem Puncte, ſo muß die Reſultirende aller Kräfte durch dieſen Punct gehen und auf der Fläche ſenkrecht ſtehen; erfolgt die Berührung in zwei Puncten, ſo muß die Reſultirende in die gerade Linie fallen, welche dieſe beiden Puncte verbindet; tritt endlich die Berührung in mehreren, nicht in einer geraden Linie liegenden Puncten ein, ſo darf die Richtung der Reſultirenden die Fläche nicht außerhalb des Polygons treffen, welches durch die Berührungspuncte gezeichnet iſt.

134. Dieſe allgemeinen Geſetze des Gleichgewichtes laſſen ſich nun leicht auf ſchwere feſte Körper anwenden. Jeder ſolche hat einen Schwerpunct, in welchem man ſich ſein ganzes Gewicht vereiniget denken kann. Daraus folgt, daß man nur den Schwerpunct zu hindern braucht, ſich abwärts zu bewegen, um den Körper gegen das Fallen zu ſichern. Dieß findet Statt, wenn der Körper entweder in einem Puncte in der Verticallinie, die durch den Schwerpunct geht (man nennt ſie die Directionslinie des Körpers), von unten unterſtützt iſt, oder an einem Faden hängt, deſſen Richtung mit der Directionslinie übereinſtimmt. Eben ſo iſt der Körper im Gleichgewichte, wenn er an zwei Puncten gehalten wird, die mit dem Schwerpuncte in einerlei Verticalebene liegen, oder wenn der Körper in den Eckpuncten eines Dreieckes auf einer Unterlage liegt und zugleich ſeine Directionslinie den Flächenraum dieſes Dreieckes trifft u. dgl. In dem beſonderen Falle, wenn der Schwerpunct ſelbſt unmittelbar gehalten wird, der Körper aber um denſelben frei gedreht werden kann, befindet ſich der Körper in jeder Lage im Gleichgewichte; denn die Reſultirende aller Schwerkräfte wird ſtets durch den Widerſtand des feſten Punctes aufgehoben. Doch iſt hiebei nicht zu vergeſſen, daß, wenn der Schwerpunct des Körpers ſeinen Platz außerhalb der Maſſe deſſelben hat, wie z. B. bei einem Ringe, dieſer Punct vorerſt mit dem Körper in eine feſte Verbindung gebracht werden muß.

135. Nicht jeder Körper, der durch Unterſtützung ſeines Schwerpunctes gegen das Fallen geſchützt iſt, hat bei jeder Art der Unterſtützung und unter allen Umſtänden einen gleich ſichern Stand. Iſt die Lage eines Körpers ſo beſchaffen, daß ſein Schwerpunct tiefer liegt, als bei jeder andern, in die er durch ſehr geringe Verrückung verſetzt werden kann; ſo wird er ſelbſt dann, wenn ihn eine Kraft bis zu einer gewiſſen Grenze aus dieſer Lage bringt, wieder dahin zurückkehren. Man ſagt, er ſey im ſtabilen Gleichgewichte. Hat ſein Schwerpunct einen höheren Stand, als er durch eine geringe Neigung erlangt, ſo kehrt er in dieſe ſeine Lage nicht mehr zurück, ſobald man ihn durch eine auch noch ſo kleine Verrückung daraus bringt, und dann heißt es, er ſey im labilen Gleichgewichte. Ein Körper, der im oberen Theile ſeiner Maſſe unterſtützt iſt, wie z. B. ein an einem Faden hängender Körper, hat ſtets ein ſtabiles Gleichgewicht; ein von unten in einem Puncte unterſtützter Körper kann in ſtabilem oder labi-

lem Gleichgewichte ſeyn. Man denke ſich z. B. einen von einer krummen Fläche begrenzten Körper, z. B. ein Ei. Liegt dieſes ſo auf einem Tiſche, daß ſeine größere Axe horizontal iſt, ſo hat es eine ſtabile, wenn aber dieſe Axe vertical ſteht, eine labile Lage. Ein von unten unterſtützter Körper, der ſeine Unterlage in wenigſtens drei Puncten berührt, die nicht in einer Geraden liegen und zwiſchen welche ſeine Directionslinie fällt, iſt ſtets im ſtabilen Gleichgewichte oder hat *Stabilität*. Bringt man einen ſtabilen Körper mehr und mehr aus ſeiner Lage, ſo gelangt er endlich in eine andere Gleichgewichtslage, die aber labil iſt; durch fortgeſetztes Neigen kommt er wieder in eine ſtabile Lage, und ſo folgt ſtets auf einen ſtabilen ein labiler Stand, in welchem er im Gleichgewichte ſteht, in jeder Zwiſchenlage muß er aber fallen. Man kann ſich dieſes leicht durch einen Würfel verſinnlichen, den man um eine horizontale Axe ſo dreht, daß er abwechſelnd auf eine Seitenfläche und auf eine Kante zu ſtehen kommt. Es gibt jedoch Fälle, wo weder von Stabilität noch von eigentlicher Labilität die Rede ſeyn kann, z. B. bei einer gleichförmig dichten, auf einer horizontalen Ebene ruhenden Kugel, die in allen möglichen Lagen im Gleichgewichte iſt.

Die balancirenden Figuren ſcheinen in labilem Gleichgewichte zu ſeyn, während ſie ſich in der That in ſtabilem befinden; die Kunſt des Seiltanzens beſteht darin, ſich in labilem Gleichgewichte zu erhalten. Die Lehre vom Schwerpuncte findet ihre Anwendung bei der Betrachtung der Haltung des Körpers beim Stehen, Gehen, Sitzen, Aufſtehen, Laſttragen; auf ihr beruht die Sicherheit der ſchiefen Thürme zu Piſa und Bologna, die Einrichtung mehrerer Spielwerke, als des chineſiſchen Purzelmannes u. dgl.

136. Um einen Körper, der auf einer Grundlage ſtabil ruht, aus ſeiner Lage zu bringen, iſt eine Kraft nöthig, deren Größe eine gewiſſe Grenze überſchreitet. In der That ſey G (Fig. 22) der Schwerpunct eines Körpers, AB der Durchſchnitt ſeiner horizontalen Grundfläche mit einer Verticalebene, die den Punct G in ſich enthält und auf der Kante bei A ſenkrecht ſteht, CD die in derſelben Verticalebene angenommene Richtung einer horizontal wirkenden, der Größe nach noch unbeſtimmten Kraft P, welche den Körper um die Kante A zu drehen ſtrebt. Man ziehe durch G und A die Verticalen EF, AH, welche mit CD und AB das Rechteck AEFH begrenzen. Das Gewicht des Körpers, welches wir durch Q vorſtellen, kann als eine in G nach der Richtung GE angebrachte Kraft betrachtet werden, die man ſammt der Kraft P auf den Punct F verſetzen kann. Wählt man nun die Größe der Kraft P dergeſtalt, daß die Proportion $P:Q = FH:FE$ Statt findet, mithin $P = Q \cdot \frac{FH}{FE} = Q \cdot \frac{AE}{FE}$ iſt, ſo hat die Reſultirende der Kräfte P und Q die Richtung FA; wird aber $P < Q \cdot \frac{AE}{FE}$ angenommen, ſo trifft die Richtung dieſer Reſultirenden mit AB in einem Puncte zwiſchen A und E zuſammen, und wenn

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

$P > Q \cdot \frac{AE}{FE}$ iſt, in einem Puncte außerhalb der AB, von B gegen A hin geſehen. In dem letztern Falle allein wird der Körper durch die Kraft P um die Kante A gedreht werden, in den übrigen Fällen bleibt er in Ruhe, nur iſt die Richtung der Kraft, die der Körper gegen ſeine Grundfläche ausübt, ſchief. Die Größe $Q \cdot \frac{AE}{FE}$, welche die Kraft P überſchreiten muß, um die Drehung zu bewirken, kann man als das **Maß der Standfähigkeit** des Körpers für die gewählte Richtung der drehenden Kraft betrachten. In ſofern einerlei Höhe des Angriffspunctes letzterer Kraft über der horizontalen Baſis des Körpers Statt findet, alſo FE ſich nicht ändert, ſteht die Stabilität in geradem Verhältniſſe mit Q und AE, d. h. ſie iſt um ſo größer, je mehr das Gewicht des Körpers beträgt, und je weiter die Kante, um welche der Körper gedreht werden ſoll, von der Directionslinie entfernt iſt. Bei einem und demſelben Körper wird ſich aber die Stabilität um ſo größer zeigen, je kleiner FE iſt, d. h. je niedriger der Angriffspunct der drehenden Kraft liegt.

Nach dieſem Geſetze wird die Standfähigkeit der Mauern, Möbel, belaſteter Wagen, ſelbſt der mehr oder weniger feſte Stand eines Menſchen beurtheilt.

Viertes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen.

137. Der Zuſammenhang der Theile feſter Körper macht es möglich, daß eine Kraft einen Punct eines ſolchen Körpers afficiren kann, auf den ſie nicht unmittelbar wirkt. Eine Vorrichtung, mittelſt welcher eine Kraft auf einen außer ihrer Richtung liegenden Punct wirkt, heißt **Maſchine**. Es liegt in der Natur der Sache, daß der Bewegung des Punctes, worauf die Kraft mittelſt der Maſchine wirken ſoll, ein Hinderniß entgegenſtehe, weil ſonſt kein Grund vorhanden wäre, die Maſchine anzuwenden. Dieſes Hinderniß läßt ſich ſtets als eine Gegenkraft betrachten, welche in Bezug auf erſtere, die hier vorzugsweiſe **Kraft** heißt, die **Laſt** genannt wird. Es kommen daher bei jeder Maſchine wenigſtens dieſe zwei Kräfte in Betrachtung. Um einzuſehen, wie die Maſchine zwiſchen Kraft und Laſt vermittelt, denke man ſich die Kraft ſo gewählt, daß ſie der Laſt das Gleichgewicht hält. Das Verhältniß, in welchem die Größe der Kraft zu jener der Laſt hiebei ſteht, heißt das **ſtatiſche Verhältniß**. Aus dem Begriffe einer Maſchine geht hervor, daß die Richtungen der Kraft und Laſt einander nicht gerade entgegengeſetzt ſind; ſoll nun zwiſchen beiden Kräften Gleichgewicht herrſchen, ſo muß ihre Reſultirende durch einen unbeweglichen Punct gehen oder auf einer unbeweglichen Fläche ſenkrecht ſtehen und dadurch aufgehoben werden. Ein ſolcher unbeweg-

licher Punct heißt Unterſtützungspunct. Eine Maſchine, wovon kein Beſtandtheil ſelbſt wieder eine Maſchine iſt, heißt einfach, widrigenfalls zuſammengeſetzt.

138. Um die einfachen Maſchinen auf eine Grundform zurückzuführen, laſſen wir die Richtungen der Kraft und Laſt in dieſelbe Ebene fallen. Dieſe Kräfte werden nun eine in derſelben Ebene wirkende Reſultirende erzeugen, zu deren Vernichtung die Maſchine einen in der Richtung letzterer Kraft liegenden firen Punct oder eine unbewegliche, auf dieſer Richtung ſenkrechte Fläche enthalten muß. Es zerfallen demnach die einfachen Maſchinen in zwei Claſſen, in ſolche, bei denen die Reſultirende der wirkenden Kräfte durch einen firen Punct, und in andere, bei denen dieſelbe durch eine unbewegliche Fläche aufgehoben wird. In die erſte Claſſe gehört die Stangen- oder Seilmaſchine, der Hebel, das Wellrad und die Rolle, in die zweite Claſſe fallen die geneigte Ebene (oder jede krumme Fläche), die Schraube und der Keil.

139. Die Stangen- oder Seilmaſchine beſteht aus drei Stangen (Stricken, Schnüren, Ketten u. dgl.) A O, B O, C O (Fig. 23), welche in einem Puncte O, um welchen ſie ſich frei bewegen können, mit einander verbunden ſind; an dem Ende A der einen, längs ihrer Richtung A O oder O A, wirkt die Kraft P, an dem Ende B der zweiten längs B O oder O B die Laſt Q, und das Ende C der dritten iſt dergeſtalt befeſtigt, daß ſich dieſelbe um den firen Punct C drehen kann. Im Zuſtande des Gleichgewichtes muß offenbar die Richtung der Reſultirenden der Kräfte P und Q in die Gerade O C fallen. Zieht man nun von C oder von irgend einem andern Puncte der CO, O ausgenommen, auf A O, B O die Senkrechten CH, CK, ſo iſt

$$P : Q = CK : CH,$$

und dieſes iſt das ſtatiſche Verhältniß der Kräfte bei dieſer Maſchine. Hierauf beruht auch die Wirkſamkeit der ſogenannten Kniepreſſe. (S. Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 20. Fechner in Pogg. Ann. 41. 501.)

140. Ein Hebel iſt eine unbiegſame Stange oder Linie A C B (Fig. 24 a und b), die um einen Punct C (Unterſtützungspunct) beweglich iſt, außer welchem die Kraft P und die Laſt Q angebracht ſind. A C und B C heißen die Hebelarme. Wird dieſe Stange ſchwerlos gedacht, ſo heißt der Hebel ein mathematiſcher, iſt ſie ſchwer, ein phyſiſcher Hebel; liegen A, C, B in einer geraden Linie, ſo iſt der Hebel ein geradliniger, ſonſt ein Winkelhebel. Liegt der Unterſtützungspunct zwiſchen den Angriffspuncten der Kraft und Laſt, ſo heißt der Hebel zweiarmig, widrigenfalls einarmig. Iſt A B ein mathematiſcher Hebel, er mag nun ein- oder zweiarmig, geradlinig oder ein Winkelhebel ſeyn; ſo ſtehen die Kräfte P und Q im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt verhalten, wie die Senkrechten C D und C E, welche vom Unterſtützungspuncte auf die Richtungen der Kräfte gezogen ſind, oder wenn die Momente der Kraft und Laſt in Beziehung auf den Unterſtützungspunct einan-

BAYERISCHE STAATS- BIBLIOTHEK MUENCHEN

der gleich ſind; denn bei dieſem Verhältniſſe der Kräfte zu einander geht die Reſultirende von P und Q durch den Unterſtützungspunct C, und es kann keine Bewegung erfolgen. Man kann dieſen Satz auch umkehren und ſagen: Sobald am Hebel A B Gleichgewicht herrſcht, muß obige Proportion Statt finden. Denn es wird erſteres offenbar nur dann ſeyn können, wenn die Reſultirende der Kräfte P und Q durch den Unterſtützungspunct geht; dieſes ereignet ſich aber nur, wenn $P \cdot CD = Q \cdot CE$, oder wenn $P : Q = CE : CD$ iſt. Wirken die Kräfte P und Q parallel auf einen geradlinigen Hebel, ſo ſtehen ſie im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt, wie die Hebelarme verhalten.

Dieſen Satz hat zuerſt Archimedes auf eine höchſt ſinnreiche, aber minder ſtrenge Weiſe bewieſen.

141. Der phyſiſche Hebel kann in einen mathematiſchen verwandelt werden, wenn man ſein ganzes Gewicht in ſeinem Schwerpuncte vereint annimmt und ihn dann als ſchwerlos behandelt. Für den Stand des Gleichgewichtes muß das Moment dieſes Gewichtes in Beziehung auf den Unterſtützungspunct zu dem Momente der Kraft addirt werden, wenn der Schwerpunct auf die Seite der Kraft fällt und dieſe abwärts wirkt, oder wenn der Schwerpunct auf die Seite der Laſt fällt und dieſe aufwärts wirkt; in den übrigen Fällen muß gedachtes Moment zu jenem der Laſt addirt werden Hievon überzeugt man ſich ſogleich, wenn man eine der Kräfte am Hebel in zwei Theile zerlegt, wovon der erſte der andern Kraft, der zweite aber dem im Schwerpuncte des Hebels vereinigten Gewichte deſſelben das Gleichgewicht hält.

142. Der Hebel iſt ſchon deßhalb ſehr wichtig, weil er in ſehr vielen Vorrichtungen zum Behufe der Gewerbe und Künſte Anwendung findet, wie z. B. in den Brecheiſen, Schaufeln, Zangen, Scheren, Hebladen, Hammerwerken, Rudern u. ſ. w.; für den Phyſiker wird er es nebſt andern beſonders dadurch, daß darauf eines ſeiner wichtigſten Inſtrumente, die Wage beruht. Man unterſcheidet zwei Gattungen Wagen, nämlich die gemeine Wage und die Schnellwage. Für die Phyſik iſt die erſtere beſonders wichtig. Die gemeine Wage beſteht, wie bekannt, aus dem Wagebalken, der Schere, der Zunge und aus den Schalen. Der Wagebalken liegt mittelſt eines in der Mitte deſſelben zu beiden Seiten hervorragenden, nach unten in eine Schneide ſich endigenden Zapfens auf den Lagern (Pfannen) der Schere. Dieſe Schneide iſt die Drehungsaxe des Balkens. Auf ähnliche Weiſe ſind die Wagſchalen an dem Balken aufgehängt. Der Wagebalken ſoll, wie immer innerhalb der Grenzen ſeines Tragvermögens belaſtet, eine ſtabile Gleichgewichtslage annehmen, und zwar eine horizontale bei gleicher, eine geneigte bei ungleicher Belaſtung der Schalen, und in letzterem Falle ſoll die Abweichung von der horizontalen Lage, der Ausſchlag, um ſo größer werden, je größer der Unterſchied der Laſten iſt, die in beiden Schalen liegen. Die Stabilität des Balkens ohne Schalen erheiſcht,

BAYERISCHE STAATS BIBLIOTHEK MUENCHEN

daß ſein Schwerpunct tiefer liege als die Drehungsaxe, die Stabilität des Balkens mit belaſteten Schalen, daß die Drehungsaxe über der Verbindungslinie der Aufhängepuncte der Schalen, welche Linie die *Längenaxe* des Balkens heißen mag, ſich befinde. Zur horizontalen Ruhelage des unbelaſteten Balkens iſt erforderlich, daß die Verbindungslinie der Drehungsaxe mit ſeinem Schwerpuncte die Längenaxe ſenkrecht durchſchneide; ſoll die horizontole Lage des Balkens überdieß noch bei belaſteten Schalen Statt finden, ſo muß der Durchſchnittspunct vorgenannter Linien zugleich der Halbirungspunct der Längenaxe ſeyn. Dieſer Halbirungspunct heißt der *Mittelpunct* des Wagebalkens. In dieſer Anordnung des Mittelpunctes beſteht die *Gleicharmigkeit* des Wagebalkens; die *Zunge* des Wagebalkens iſt hiebei die Vereinigung der Geraden, welche durch die Diehungsaxe, den Mittelpunct und durch den Schwerpunct des Wagebalkens geht. Je kleiner der Abſtand des Mittelpunctes, wie auch des Schwerpunctes von der Drehungsaxe in Vergleichung mit der Länge des Wagebalkens, und je geringer das Gewicht des Wagebalkens und der Belaſtung iſt, ein deſto geringerer Unterſchied in der Belaſtung beider Schalen reicht hin, einen beſtimmten *Ausſchlagwinkel* hervorzubringen, und deſto *empfindlicher* iſt daher die Wage. Man ſchätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach dem aliquoten Theile der größten, ihrem Tragvermögen angemeſſenen Belaſtung, deu ſie noch anzuzeigen vermag.

Es ſey (Fig 25) A B die Längenaxe des Wagebalkens in einer durch ungleiche Belaſtung der Wagſchalen hervorgebrachten ſchiefen Gleichgewichtslage, C der Mittelpunct, G der Schwerpunct, E die Drehungsaxe, alſo G x die Richtung der Zunge und der Winkel x E y, den dieſe mit der Verticallinie E y macht, der Ausſchlag. Das Gewicht des Wagebalkens ſey Q; jede Schale habe das Gewicht S und ſey mit dem Gewichte P belaſtet, überdieß aber ſey in die Schale A das Gewicht p zugelegt. Man kann das Gewicht des Wagebalkens in ſeinem Schwerpuncte, und die gleichen Gewichte der Schalen und Belaſtungen in dem Mittelpuncte concentrirt denken, daher wird die Gleichgewichtslage des Wagebalkens durch die drei Kräfte p, 2 (S + P) und Q hervorgebracht, die in den Puncten A, C, G nach den verticalen Richtungen A u, C z, G w wirken. Das Gewicht p läßt ſich aus zwei Theilen p' und p'' zuſammengeſetzt betrachten, wovon der erſte der Kraft in C, der zweite der Kraft in G das Gleichgewicht hält. Zieht man nun durch den Unterſtützungspunct E eine Horizontalebene, welche den vorgenannten Verticalen in a, c, g begegnet, ſo hat man nach dem Geſetze des Hebels, $p' . Ea = 2(S + P) . Ec$ und $p'' . Ea = Q . Eg$, mithin durch Addition $(p' + p'') Ea = 2 (S + p) Ec + Q . Eg$, oder

$$p (ac - Ec) = 2 (S + P) Ec + Q . Eg.$$

Dieſe Gleichung zeigt, daß wenn unter den Größen a c, E c, E g, S + P, Q alle bis auf eine ungeändert bleiben, zur Verringerung von p nothwendig entweder a c vergrößert oder eine der übrigen vier Größen verringert werden muß. Bleibt der Ausſchlagwinkel derſelbe, ſo ändern ſich A c, E c, E g in demſelben Verhältniſſe, wie A C, E C, E G; es wird alſo zur Hervorbringung von einerlei Ausſchlagwinkel ein kleineres p genügen, wenn entweder A C wächſt oder E C, E G, S + P, Q abnehmen, wodurch die oben ausgeſprochene Behauptung gerechtfer-

7 *

tigt iſt. Eine gute Wage ſoll wenigſtens $\frac{1}{60000}$ des Maximums der Belaſtung anzeigen Ramdens berühmte Wage gab bei einer Belaſtung von 10 Pfd. noch 0,006 Gr., alſo den 12millionſten Theil der Belaſtung an. Fortin's Wagen zeigen bei 4 Pfd. Belaſtung noch $\frac{1}{50}$ Gran, mithin $\frac{1}{1536000}$ der Laſt.

143. Obgleich es ſehr leicht iſt, die Bedingungen anzugeben, von denen die Genauigkeit einer Wage abhängt, ſo darf man in der Ausübung doch nicht hoffen, denſelben in aller Schärfe zu entſprechen, ja ſelbſt wenn ſie wirklich ſtreng erfüllt werden könnten, ſo würden ſie dennoch durch die kleinſte Ungleichheit in der Temperatur des Wagbalkens oder in der Vertheilung einiger auf demſelben liegenden Stäubchen wieder verletzt. Demnach ſind die beſten Wagen, genau genommen, doch noch falſche Wagen, aber die Fehler ſind ſo klein, daß man ſie in vielen Fällen ganz vernachläßigen kann. Glücklicher Weiſe läßt ſich nicht nur allein die Falſchheit einer Wage ſehr leicht erkennen, ſondern man findet ſelbſt mit einer falſchen Wage das Gewicht eines Körpers richtig, wenn man auf folgende Weiſe verfährt: Man bringt den abzuwägenden Körper an die Wage und ſetzt ihn durch beliebige Gewichtsſtücke, die man in die andere Wagſchale legt, ins Gleichgewicht, nimmt ihn dann hinweg und ſetzt an ſeine Stelle, ohne an der Wage ſonſt etwas zu ändern, ſo viele Gewichte, als nöthig iſt, um den vorigen Stand des Gleichgewichtes wieder herzuſtellen. Dieſe Gewichte müſſen nun offenbar dem Gewichte des Körpers gleich ſeyn. Dieſes Verfahren wird daher bei jeder ſubtilen Wägung, wenn einem auch eine ſonſt gute Wage zu Gebote ſteht, angezeigt ſeyn. Es führt aber doch nur zu einem richtigen Reſultate, wenn die Reibung zwiſchen Zapfen und Pfannen während der ganzen Operation gleich bleibt. Um dieſes zu erzielen, muß man den Wagbalken, während man den abzuwägenden Körper von der Wage nimmt und ihn durch Gewichte erſetzt, in ſeiner erſten Lage unterſtützen und ihn erſt dann wieder frei laſſen, wenn die zugelegten Gewichte ſchon nahe dem Gewichte des Körpers gleich kommen. Darum iſt es gut, einer ſolchen Wägung eine auf gewöhnliche Weiſe vorgenommene vorangehen zu laſſen. Man erhält aber ſelbſt bei der pünktlichſten Befolgung dieſer Vorſchriften nur das ſcheinbare Gewicht eines Körpers in der Luft und muß davon erſt das wahre im leeren Raume ableiten, worüber in der Folge Aufſchluß gegeben werden wird. Die Richtigkeit einer Wage wird dadurch geprüft, daß man, nachdem man an derſelben zwei Laſten in das Gleichgewicht geſetzt hat, dieſe unter einander verwechſelt. Aendert ſich hiebei die Ruhelage des Wagebalkens, ſo iſt die Wage unrichtig.

Eine gute und empfindliche Wage gehört zu den unentbehrlichſten Beſtandſtücken eines phyſikaliſchen Kabinets. Man kann ſolche von der mannigfaltigſten Conſtruction erhalten. Heut zu Tage macht man die Balken faſt ausſchließlich von Meſſing und zwar nicht maſſiv, ſondern, um bei wenig Gewicht eine bedeutende Feſtigkeit zu erhalten, hohl oder durchbrochen. Am entſprechendſten dürften wohl die aus dünnen, hohen, durchbrochenen Platten geformten ſeyn. Die Zapfen für die Hauptaxe macht man aus hartem Stahl und gibt ihnen eine unter einem großen

Winkel zulaufende ſcharfe Schneide, die Schalen hängt man an harte ſtählerne, zugeſchärfte Ringe, in welche eben ſolche Haken eingreifen; die Pfanne für die Zapfen wird eben geformt und aus Achat, Bergkryſtall oder wohl auch aus hartem Stahl gemacht. Der Schwerpunct des Balkens ſowohl als das Gewichtsmoment jedes ſeiner Arme wird zum Corrigiren eingerichtet, die Zunge fein und lang gemacht und nach abwärts gekehrt Sie ſpielt meiſt über einem Gradbogen. Iſt letzterer nicht freihängend, ſo muß man die ganze Wage horizontal ſtellen können und zu dieſem Ende eigene Vorrichtungen haben. Ganz kleine Gewichte (unter 10 Milligramm) ſind ſelten ganz richtig und gehen leicht verloren. Man kann ſie entbehren, wenn man jeden Arm des Balkens der Lange nach in 10 gleiche Theile theilt. Legt man das Gewicht a an die Stelle, welche $\frac{1}{10}$ der Armlänge entſpricht, ſo vertritt es das Gewicht $\frac{a}{10}$ in die Wagſchale gelegt. Somit kann man mit Centigrammen auch Milligramme auswägen. Die Wagſchalen werden an Metalldrähte, oft auch an Schnüre gehängt. Der Balken muß zum Heben aus der Pfanne eingerichtet ſeyn und in horizontaler Lage unterſtützt werden können. Alles zuſammen ſoll in einem Glaskaſten ſtehen, den man ohne Erſchütterung öffnen kann. (Gute Wagen der hier beſprochenen Art verfertiget Mechanikus Kraft in Wien. Eine ausführliche Beſchreibung einer guten Wage findet man in: Grundzüge der Experimentalphyſik ꝛc., von Dr. H. Buff. Heidelberg 1843. S. 76.)

144. Die Schnellwage (Fig. 26) hat einen Balken mit ungleichen Armen An einem beſtimmten Puncte des kürzern Armes wird der abzuwägende Körper A angebracht, und am längern ein beſtimmtes Gewicht P (der Laufer) ſo lange hin oder her geſchoben, bis es mit A bei horizontaler Lage des Wagebalkens im Gleichgewichte ſteht. Hält der unbelaſtete Balken in der horizontalen Lage aus, ſo heißt die Wage eine mathematiſche Schnellwage. An derſelben iſt die Verbindungslinie der Drehungsaxe mit dem Schwerpuncte des Wagebalkens auf ſeiner Längenaxe ſenkrecht. Der Durchſchnittspunct beider kann, als Mittelpunct der Kräfte, auch hier Mittelpunct des Balkens heißen, obgleich er denſelben nicht halbirt. Iſt die Entfernung des Körpers von dem Mittelpuncte $= a$, die des Laufers $= b$, ſo iſt offenbar $Aa = Pb$ oder $A = P \cdot \frac{b}{a}$, und für $a = 1$, $A = Pb$. Man kann daher a auf den längern Arm ſo oft übertragen, als es angeht, und durch Multiplication des Laufergewichtes mit der Anzahl Theilſtriche, die zwiſchen den Laufer und die Axe fallen, das Gewicht von A beſtimmen Die Empfindlichkeit der Wage hängt hier von ähnlichen Umſtänden ab, wie die der gleicharmigen Wage Bleibt aber der Balken unbelaſtet nicht in der horizontalen Lage in Ruhe, d h. iſt die Wage eine phyſiſche Schnellwage, ſo kann obige Gleichung nicht gelten, und man beſtimmt die Puncte des längeren Armes, an welchem P mit einer gewiſſen Laſt im Gleichgewichte ſteht, beſſer durch Erfahrung.

145. Das Wellrad ſtellt Fig 27 vor. Es iſt ein um ſeine Axe beweglicher Cylinder mit einem Rade, deſſen Axe mit jener des

Cylinders zuſammenfällt und zugleich auf der Ebene des Rades ſenkrecht ſteht. Die Kraft wirkt am Umfange des Rades, die Laſt am Umfange des Cylinders. Denkt man ſich die Laſt in die Ebene des Rades verſetzt, ſo wird dadurch am Erfolge der Kraft nichts geändert, weil Welle und Rad mit einander unveränderlich verbunden ſind, und dann ſtellt Fig. 28 einen Querſchnitt dieſer Maſchine vor, aus dem erſichtlich wird, daß ſie auf einen Hebel zurückgeführt werden kann, deſſen Ruhepunct C in der Are des Rades liegt, während in A die Laſt Q, in B die Kraft P wirkt. Obgleich man alſo das Wellrad als eine beſondere einfache Maſchine anzuſehen pflegt, ſo iſt es doch nur eine ſo oftmalige Wiederholung deſſelben Hebels, als ſich Rad- und Wellenhalbmeſſer denken laſſen. Man hat daher für den Zuſtand des Gleichgewichtes P : Q = AC : BC, d. i die Kraft verhält ſich zur Laſt, wie der Halbmeſſer des Cylinders zum Halbmeſſer des Rades; der Druck aber, den der Ruhepunct C auszuhalten hat, iſt der Verbindungslinie der Puncte A und B proportionirt, ſo daß derſelbe ſich ändert, wenn A und B an andere Stellen des Umfanges der Welle und des Rades fallen, ohne daß deßhalb an dem ſtatiſchen Verhältniſſe der Kraft und Laſt eine Aenderung vor ſich geht. Das Wellrad erſcheint im gemeinen Leben als Winde, Haſpel, Göpel, Zahnrad, Waſſerrad u. ſ. w.

146. Eine Rolle iſt eine kreisrunde, an ihrem Umfange mit einer Rinne verſehene Scheibe. Iſt ſie bloß um ihre Are beweglich, ſo heißt ſie fix; läßt ſie ſich aber nicht bloß um ihre Are drehen, ſondern auch ſammt derſelben bewegen, ſo nennt man ſie beweglich. Es ſtelle Fig. 29 eine Rolle vor, AB ſey ein von einem abſolut biegſamen Stricke umfaßtes Bogenſtück, C ihr Mittelpunct, P und P′ Kräfte, welche nach Ax und By wirken, ſo daß Ax und By Tangenten der Scheibe ſind. Iſt nun C ein firer Punct, ſo wird zum Gleichgewichte der genannten Kräfte erfordert, daß

$$P . CA = P' . CB, \text{ d. i. } P = P'$$

ſey; in der firen Rolle iſt alſo im Stande des Gleichgewichtes die Kraft gleich der Laſt. Denkt man ſich einen Punct des Strickes By durch einen Nagel feſtgehalten, dafür aber in C eine Kraft Q dem oben erwähnten Drucke entgegen wirkend und ihm an Größe gleich, welche Kraft offenbar von C gegen den Durchſchnittspunct D der verlängerten Ax und By gerichtet ſeyn muß; ſo hat man eine bewegliche Rolle vor ſich, wobei P die Kraft und Q die Laſt iſt. Da gilt nun in Bezug auf den Punct B die Proportion P : Q = BF : BE, wenn BE ſenkrecht auf AD gezogen iſt. Aber BF : BE = BC : BA, daher auch P : Q = BC : BA. Daher verhält ſich in der beweglichen Rolle im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Halbmeſſer der Rolle zur Sehne des vom Stricke umfaßten Bogens. Für parallele Kräfte wird P : Q = AC : 2AC = 1 : 2. So lange AB > AC, oder der umfaßte Bogen größer iſt als 60° und kleiner als 300°, findet Gewinn an Kraft Statt; ſobald aber dieſer Bogen kleiner wird als 60° oder größer als 300°, herrſcht das Gegentheil.

147. Jede Ebene, die mit einer horizontalen einen ſpitzigen Winkel macht, heißt geneigt oder ſchief. Iſt C (Fig. 30) ein Punct der Durchſchnittslinie der geneigten Ebene mit einer horizontalen, BC in erſterer, AC in letzterer auf dieſe Durchſchnittslinie ſenkrecht, und BAC ein rechter Winkel, mithin BA vertical; ſo heißt AC die Baſis, AB die Höhe, BC die Länge und ACB der Neigungswinkel der ſchiefen Ebene. Befindet ſich auf BC ein Körper, deſſen Schwerpunct in G iſt und deſſen Gewicht Q heißt; ſo ſucht ihn die Schwere nach der verticalen Richtung Gz zu bewegen. Soll ihn eine Kraft P, die nach Gx wirkt, auf BC erhalten, ſo muß die Richtung der Reſultirenden von P und Q auf BC ſenkrecht ſtehen und durch die Grundfläche des Körpers gehen, widrigen Falls derſelbe auf der Ebene umſchlagen würde. Iſt daher GE die Richtung dieſer Reſultirenden und ſtehen EH und EK auf Gx und Gz ſenkrecht, ſo wird für den Zuſtand des Gleichgewichtes im Allgemeinen ſeyn:

$$P:Q=EK:EH$$

In dem beſonderen Falle, wenn P der Baſis der ſchiefen Ebene parallel wirkt (Fig 31), iſt $EH=GK$, und da hier die Dreiecke GEK, ABC ähnlich ſind, iſt $EK:GK=AB:AC$, daher

$$P:Q=AB:AC,$$

d. h. es verhält ſich die Kraft zur Laſt, wie die Höhe der ſchiefen Ebene zur Baſis. Iſt aber die Richtung der Kraft P der Länge der ſchiefen Ebene parallel (Fig 32), ſo fällt EH in die EG, und man hat $P:Q=EK:EG$. Die Aehnlichkeit der Dreiecke EGK, ABC gibt aber $EK:EG=AB:BC$, daher iſt auch $P:Q=AB:BC$, mithin verhält ſich die Kraft zur Laſt wie die Höhe der ſchiefen Ebene zur Länge.

Setzt man an die Stelle der ſchiefen Ebene eine krumme Fläche, ſo iſt zum Gleichgewichte zwiſchen Kraft und Laſt erforderlich, daß die Reſultirende beider auf die Fläche normal einwirke, mithin die Richtung derſelben auf der tangirenden Ebene der Fläche in dem Berührungspuncte ſenkrecht ſtehe. Dieſer Fall reducirt ſich hiedurch auf jenen der ſchiefen Ebene. Das Geſetz des Gleichgewichtes auf der ſchiefen Ebene hat zuerſt Stevin 1605 bekannt gemacht und Galilei ſpäter ſtreng bewieſen.

148. Zur Erörterung der Theorie der Schraube iſt es nöthig, ſie auf eine ſchiefe Ebene zurückzuführen, und zu dieſem Zwecke die Art, wie man ſich eine Schraube entſtanden denken kann, nebſt der Methode, zu einer Schraubenlinie eine Tangente zu ziehen, vorläufig anzugeben. Um von der Entſtehung einer Schraube eine richtige Anſicht zu faſſen, ſey AB (Fig. 33) ein gerader Cylinder, deſſen Axe, der Deutlichkeit wegen, vertical ſtehen mag Man denke ſich ein Rechteck abdc, deſſen Baſis bd dem Umfange, und deſſen Höhe ab der Höhe des Cylinders gleich iſt, theile ab in eine beliebige Anzahl gleicher Theile ae, ef, fg, gh, hb, ziehe durch die Theilungspuncte die mit bd Parallelen ee′, ff′, gg′, hh′ und die Diagonalen

ec, fe′, gf′, hg′, bh′. Wird nun das Rechteck abdc um den Cylinder gewickelt, ſo entſteht aus den geraden Diagonalen eine Schraubenlinie. Ein Stück wie ec bildet einen Schraubengang und ae den Abſtand der Schraubengänge Der Cylinder AB heißt nun Schraubencylinder, und wenn ſich an ihm Hervorragungen nach der Richtung der Schraubenlinie herumziehen, eine Schraube, wohl auch eine Schraubenſpindel; ſind aber die Schraubengänge an einer cylindriſchen Höhlung eines Körpers eingeſchnitten, ſo nennt man ihn Schraubenmutter. Denkt man ſich eine Ebene CD (Fig, 34), welche den Schraubencylinder in der geraden Linie mn berührt, die mit ab gleichlaufend iſt, ſo entſtehen durch Abwicklung der Cylinderfläche auf dieſe Ebene lauter gerade Linien, die mit mn denſelben Winkel machen, welchen die Diagonalen ec, fe′ ꝛc. mit ab bilden, und jede dieſer Linien wird eine Tangente ihres Schraubenganges. Man kann daher zu einem Puncte o der Schraubenlinie eine Tangente ziehen, wenn man in CD ein rechtwinkliges Dreieck $\alpha\beta\gamma$ beſchreibt, deſſen mit mn parallele Höhe $\alpha\beta$ dem Abſtande zweier Schraubengänge, deſſen Baſis $\alpha\gamma$ dem Umfange des Schraubencylinders gleich iſt, und deſſen Hypothenuſe $\beta\gamma$ durch den Punct o geht.

149. Es ſeyen MoN (Fig. 35) die Schraubengänge einer vertical ſtehenden Spindel, deren Axe AB iſt, und man ſuche das ſtatiſche Verhältniß zwiſchen der Laſt Q und der am Umfange des Cylinders horizontal wirkenden Kraft P, in der Vorausſetzung, daß keine Reibung vorhanden ſey und daß der Cylinder die Schraubenmutter nur im Puncte o berühre. Die Laſt Q wirkt in o vertical abwärts, und weil die Kraft P dasſelbe Moment in Beziehung auf die Axe AB hat, ſie mag auf was immer für einen Punct am Umfange des Schraubencylinders wirken, ſo kann man ſie auch nach o verſetzt denken. Es wirken daher beide Kräfte auf o, und die eine hat zu verhindern, daß der Punct o nicht längs der Schraubenlinie hinabgleite. Da es aber hier bloß um die Verhinderung des Anfanges der Bewegung zu thun iſt, ſo hat P nur zu verhindern, daß o nicht längs der Tangente bc, d. i. über die ſchiefe Gerade abwärts gehe. Da iſt aber (147) $P:Q = ba:ac$; mithin verhält ſich bei der Schraube im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Abſtand zweier Schraubengänge zum Umfange des Schraubencylinders. Iſt die Schraube mit mehreren Puncten o, o′, o″ der Schraubenmutter in Berührung, ſo wird die ganze Laſt Q in eben ſo viele Theile q, q′, q″ zertheilt, wovon q auf o, q′ auf o′, q″ auf o″ wirkt, und wo $q + q' + q'' = Q$ iſt. Iſt p die Kraft, welche der q, p′ diejenige, welche der q das Gleichgewicht hält u. ſ. f., ſo hat man

$$p : q = ba : ac$$
$$p' : q' = ba : ac$$
$$p'' : q'' = ba : ae, \text{ mithin}$$

$$p + p' + p'' : q + q' + q'' = ba : ac \text{ oder wie vorhin,}$$
$$P : Q = ba : ac.$$

150. Ein **Keil** iſt ein dreiſeitiges Prisma (Fig. 36), das mit ſeinen Seitenflächen, z. B. mit A D und E D zwiſchen zwei Körper hineingetrieben wird, um ſie zu trennen. Stellt A B C (Fig. 40) einen auf die Kante A B (Fig 37) ſenkrechten Durchſchnitt des Keiles vor, auf deſſen Seite AC die Kraft P ſenkrecht wirkt, während auf die Seiten A B und B C (Fig. 40) die Laſt ſo vertheilt iſt, daß davon auf AB die Componente q, und auf CB die Componente q′ wirkt; ſo ſey DE die Richtung der Kraft P, und D y auf AB, D z auf B C ſenkrecht. Fällt man nun aus E auf D y und D z die Senkrechten E F und E G und zieht F G, ſo iſt $P:q:q' = FG:EG:EF$. Aber die Dreiecke E F G, A B C ſind ähnlich, denn es iſt der Winkel

$FGE = FDE = CAB$ und $FEG = CBA$, daher iſt

$FG : EG : EF = AC : AB : CB$, mithin

$$P : q : q' = AC : AB : CB.$$

151. Aus dieſen einfachen Maſchinen beſteht die unendliche Anzahl zuſammengeſetzter Vorrichtungen, deren man ſich zu den mannigfaltigſten Zwecken bedient. Die Zuſammenſetzung geſchieht auf zweierlei Art, entweder wirkt da eine Maſchine mit der andern, oder mittelſt der andern. Als Beiſpiel der erſten Art kann der gemeine Flaſchenzug gelten, den Fig. 38 vorſtellt. Iſt daſelbſt die Kraft P am freien Strickende, die Laſt Q an der unteren Flaſche angebracht, ſo iſt es klar, daß alle Stricke gleich ſtark geſpannt ſeyn müſſen, wenn P mit Q im Gleichgewichte ſeyn ſoll, und daß daher bei n Stricken ſeyn muß $P = \frac{Q}{n}$.

Bei zuſammengeſetzten Maſchinen der zweiten Art iſt die Laſt der erſten Beſtandmaſchine, auf welche nämlich die Kraft P unmittelbar wirkt, die Kraft bei der zweiten, die Laſt an dieſer die Kraft an der dritten u. ſ w. Heißt daher $a:b$ das Verhältniß der Kraft zur Laſt bei der erſten Maſchine, wenn ſie im Gleichgewichte iſt, eben ſo $a':b'$, $a'':b''$, $a''':b'''$ ꝛc bei der zweiten, dritten, vierten ꝛc., Q die Laſt bei der letzten, x die Laſt der erſten, x', x'' ꝛc., die der zweiten, dritten ꝛc.; ſo wird

$$\begin{array}{l} P : x = a : b \\ x : x' = a' : b \\ x' : x'' = a'' : b'' \\ x'' : Q = a''' : b''', \text{ mithin} \\ \hline P : Q = a\,a'\,a''\,a''' : b\,b'\,b''\,b'''. \end{array}$$

Es iſt daher das Verhältniß der Kraft zur Laſt aus den einfachen Verhältniſſen der Beſtandmaſchinen zuſammengeſetzt.

Alle hier angeführten Geſetze des Gleichgewichtes ſind nur beſondere Fälle eines allgemeinen Princips, welches das Princip der virtuellen Geſchwindigkeiten genannt wird und ſo lautet: Wenn ein Syſtem von ſo viel Körpern oder Puncten, als man will, wovon jeder durch Kräfte afficirt wird, im Gleichgewichte ſteht, und man ertheilt dem Syſteme eine unendlich kleine, mit der Beſchaffenheit deſſelben verträgliche Bewegung, vermög welcher jeder Punct des Syſtems einen unendlich

kleinen Weg zurücklegt; ſo iſt die Summe aus den Producten jeder Kraft in den Weg, den ihr Angriffspunct nach der Richtung der Kraft beſchreibt, vorausgeſetzt, daß man die Wege, welche nach entgegengeſetzten Richtungen beſchrieben werden, durch + und — unterſcheidet, entweder gleich Null oder negativ, je nachdem zu jeder Verſchiebung des Syſtems auch die entgegengeſetzte möglich iſt oder nicht. Dieſes Princip wurde in dieſer Allgemeinheit zuerſt von Johann Bernoulli 1717 ausgeſprochen; ſeinen Werth ſtellte aber erſt Lagrange (1788) in das volle Licht.

Fünftes Kapitel.

Gleichgewicht der Theile feſter Körper.

152. Schon vorher wurde gezeigt, daß die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes der Körper ſich aus der Wirkung zweier die Molekel beherrſchenden Grundkräfte, der Anziehungs- und Abſtoßungskraft, erklären laſſe. Hier ſoll nun das den feſten Körpern zum Grunde liegende Verhältniß dieſer Kräfte näher betrachtet werden. Dieſes läßt ſich am beſten aus der Art der Anordnung der ſich frei überlaſſenen Körpertheile zu feſten Maſſen und aus dem Widerſtande entnehmen, den dieſelben ihrer Verſchiebung und Trennung entgegenſetzen. Darum iſt hier insbeſondere von jener Anordnung und dieſem Widerſtande die Rede.

A. Anordnung der Theile feſter Körper.

153. Die Theile feſter Körper ſind immer nach beſtimmten Geſetzen angeordnet. Bei den ſogenannten unorganiſchen Körpern beſtimmt dieſes die Molecularkraft, bei den organiſchen hingegen nimmt auch die Lebenskraft darauf Einfluß; darum unterſcheiden ſich dieſe beiden Körpergattungen ſo ſehr in der Anordnung ihrer Theile von einander. Bei den organiſchen Körpern herrſchen krumme Begrenzungsflächen vor, ſie laſſen die Richtung erkennen, in welcher ſie nach und nach herangewachſen ſind, und erſcheinen meiſtens aus Längenfaſern beſtehend; die unorganiſchen, welche ſich ohne ſtörende äußere Einwirkung ausbilden konnten, haben vorwaltend ebene Begrenzungsflächen, und ſind nach verſchiedenen Richtungen in gleicher Weiſe aus ihren Theilen zuſammengeſetzt. Ein unorganiſcher Körper, welcher aus gleichartigen Maſſen beſteht und von urſprünglich vorhandenen (nicht erſt durch Theilung entſtandenen) zu einer ſymmetriſchen Form verbundenen, ebenen Flächen begrenzt iſt, heißt ein Kryſtall. Die Natur liefert uns unzählige Körper in ſolcher Geſtalt, und viele kann man durch Kunſt erzeugen und vor unſeren Augen entſtehen ſehen; ſolche Körper des Mineralreiches, welche keine Kryſtalle zu ſeyn ſcheinen, ſind doch Aggregate kleiner mit einander verbundener Kryſtalle, die ſich meiſtens an den Bruchflächen deutlich als ſolche erkennen laſſen; es gibt aber auch Körper, die weder an der natürlichen Oberfläche noch

am Bruche etwas Kryſtalliniſches zeigen, und ſolche heißen dann amorphe (geſtaltloſe).

154. Soll ein Stoff die Kryſtallform annehmen (kryſtalliſiren), ſo müſſen ſeine kleinſten Theile ihrer inneren Kraft ungehindert folgen können, welches nur der Fall iſt, wenn ſie ſich im flüſſigen Zuſtande befinden. Darum muß man feſte Körper, die man kryſtalliſiren laſſen will, entweder durch ein Löſungsmittel oder durch Wärme tropfbar oder ausdehnſam machen, ſie aber dann unter Umſtände bringen, wo die Zuſammenhangskraft ohne Störung mit der nöthigen Stärke wirken kann. Letzteres geſchieht 1) durch langſames Abkühlen. So kryſtalliſirt man geſchmolzenen Schwefel, Wismuth, Antimon ꝛc. Damit die zuerſt entſtandenen Kryſtalle nicht durch Anlegen ſpäter nachfolgender undeutlich werden, iſt es gut, den flüſſigen Reſt von der zuerſt geſtandenen Maſſe abzugießen. Bei gelöſten Körpern führt das Abkühlen nur dann zum Zwecke, wenn das Auflöſungsmittel von dem kryſtalliſirbaren Stoffe bei höherer Temperatur mehr aufzunehmen vermag, als bei niederer, wie z. B. bei Alaun. 2) Durch Verflüchtigung des Auflöſungsmittels mittelſt der Wärme. Auf dieſe Weiſe kryſtalliſirt Kochſalz, Salpeter ꝛc. 3) Durch Zuſatz eines Stoffes, der das Auflöſungsmittel bindet oder auf andere Weiſe eine Zerſetzung bewirkt. So bekommt man aus einer wäſſerigen Auflöſung des ſchwefelſauren Kupferoxydes durch Zuſatz von Weingeiſt Kryſtalle; auch die Ausſcheidung der Stoffe in Kryſtallform durch Elektricität gehört hierher. 4) Durch ſtarkes Comprimiren der Flüſſigkeit. Auf dieſem Wege hat Perkins aus der flüſſigen Eſſigſäure ſchöne Kryſtalle erhalten. Welches von dieſen Mitteln man wählen mag, ſo werden doch immer deſto mehrere Kryſtalle auf einmal ſich zu bilden anfangen, je raſcher der feſte Zuſtand eintritt, und da jeder Kryſtall einen Kern abgibt, um den ſich die übrige Maſſe gerne anlegt, ſo entſtehen nur kleine, mit einander verwachſene Kryſtalle oder undeutlich kryſtalliſirte Klumpen, wie man dieſes am Hutzucker und am Kochſalze ſehen kann. Die meiſten kugelförmigen, traubenartigen, haarförmigen, zähnigen, drahtförmigen und geſtrickten Geſtalten ſind ſolche Kryſtallaggregate.

Ein merkwürdiges Beiſpiel des Kryſtalliſirens eines geſchmolzenen Körpers lehrt Marx am eſſigſauren Natrum kennen. Wird dieſes über einer Weingeiſtlampe geſchmolzen und hierauf von der Flamme entfernt, ſo trennt ſich die Flüſſigkeit plötzlich von den Wänden des Gefäßes, zieht ſich zuſammen und wird feſt. So wie ſich aber eine feſte Haut gebildet hat, brechen aus dem Innern Kryſtalle hervor, und wachſen raſch auswärts.

Da die angeführten Mittel nicht auf jeden Stoff gleich ſtark oder gleich ſchnell wirken, ſo kann man ſich ihrer bedienen, um aus einer Miſchung mehrerer Stoffe einen oder den andern auszuſcheiden. So trennt man das Digeſtivſalz vom Salpeter aus einer Löſung, worin beide enthalten ſind, bei der gewöhnlichen Salpeterbereitung, durch bloßes Abkühlen der Maſſe, weil erſteres ſpäter kryſtalliſirt als letzterer.

155. Die Bildung der Kryſtalle kann durch gewiſſe Umſtände ausnehmend **erleichtert** werden. Iſt eine Flüſſigkeit ſchon nahe daran, Kryſtalle zu liefern, ſo iſt dem Anſchießen derſelben oft ein ſchwacher Stoß, der die Maſſe in Bewegung ſetzt und die Trägheit überwinden hülft, ſehr förderlich. Dieſes zeigt ſich beſonders bei einer heißen, concentrirten Löſung von ſalzſaurem Kalke ſehr wirkſam Ein anderes Beförderungsmittel iſt die Berührung des kryſtalliſirbaren Stoffes mit einem feſten Körper, beſonders mit einem Kryſtall derſelben Natur oder auch nur mit der Luft. Die ſchon gebildeten Kryſtalle laſſen ſich durch beſondere Verfahrungsweiſen rein erhalten oder auch vergrößern.

Beiſpiele: Eine kryſtallrechte Lauge gibt immer an den Wänden des Gefäßes und an der Oberfläche, wo ſie die Luft berührt, die erſten Kryſtalle; Hineinſtellen von Stäben, Schnüren ꝛc. beſchleunigt darum die Kryſtallbildung (Bildung von Candiszucker) Legt man in eine Kochſalzlöſung einen Salzkryſtall, ſo ſieht man ihn ſchnell wachſen, wenn man auch vorher in der Flüſſigkeit noch nichts von einer anfangenden Kryſtalliſation bemerken konnte. Nimmt man einen ſolchen Kryſtall heraus, bricht davon ein Stück ab und legt ihn wieder an ſeinen vorigen Platz, ſo wird das abgeriſſene Stück wieder völlig erſetzt. Gibt man in eine Löſung von 3 Theilen Glauberſalz und 2 Th Salpeter in lauem Waſſer einen Salpeterkryſtall, ſo ſchießt bloß Salpeter an; thut man aber dasſelbe mit einem Glauberſalzkryſtall, ſo erfolgt bloß das Kryſtalliſiren des Glauberſalzes. Legt man in eine Auflöſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd und ſchwefelſaurem Zinkoxyd einen Eiſenvitriolkryſtall, ſo vergrößert ſich dieſer Kryſtall durch die Maſſe der Auflöſung, ohne Aenderung ſeiner Geſtalt; legt man den vergrößerten Kryſtall wieder in eine Eiſenvitriollöſung, ſo vergrößert er ſich auf dieſelbe Weiſe in dieſer, und man kann durch Wiederholen dieſes Verfahrens einen Kryſtall erhalten, der aus abwechſelnden, parallelen Schichten von grünlichem Eiſenvitriol und ſchwefelſaurem Zinkkupferoxyd beſteht. Vielleicht gehört auch das von **Brewſter** erzählte merkwürdige Factum hierher, daß ein Tropfen einer in Schwerſpath eingeſchloſſen geweſenen Flüſſigkeit nach dem Herausnehmen zu einem Kryſtall erſtarrte, ohne daß man es einer Verdünſtung der Flüſſigkeit zuſchreiben konnte, ſo wie die Erfahrung **Wackernagl's**, der bemerkt hat, daß ſich Kryſtalle, die mit Firniß überzogen ſind, in ihrer Lauge noch merklich vergrößern. Das Effloresciren, vermög welchem ſich weit über der Oberfläche der Flüſſigkeit an den Gefäßwänden feine Kryſtalle bilden, wie dieſes vorzüglich beim Salpeter bemerklich iſt, läßt ſich hieraus erklären. **Leblanc** lehrt Salzkryſtalle von jeder Größe erzeugen. Er empfiehlt die gehörig abgedampfte Lauge ruhig erkalten zu laſſen, den Reſt von den ſchon gebildeten Kryſtallen in eine flache Schale abzugießen, und die Bildung neuer Kryſtalle abzuwarten. Von dieſen ſoll man die ſchönſten auswählen, ſie in ein anderes flaches Gefäß neben einander legen, jedoch ſo, daß keine Berührung unter ihnen eintreten kann, und die neuerdings kryſtallrecht gemachte Lauge darüber gießen, jeden Kryſtall wenigſtens täglich einmal umlegen, und dieſes Verfahren ſo oft wiederholen, als ſich die Lauge noch kryſtallrecht machen läßt, oder bis die Kryſtalle groß genug ſind. Ein anderes Verfahren, aus kleineren Kryſtallen größere zu erhalten, beſteht darin, dieſe Kryſtalle mit ihrer Lauge an einen Ort zu bringen, wo ſie einem öfteren Temperatur-

wechſel ausgeſetzt ſind. Hat die Lauge in der Wärme ein größeres Auflöſungsvermögen als in der Kälte, ſo löſen ſie ſich in der Wärme im Verhältniß ihrer Oberflächen auf und vergrößern ſich in der Kälte nach Verhältniß ihrer Maſſen, und weil die Oberfläche der kleineren verhältnißmäßig größer iſt als die der größeren, ſo verſchwinden erſtere nach und nach ganz und nur die größern bleiben ſtark vergrößert zurück. (Zeitſchr. 3. 392. Pogg. Ann. 11. 323.)

156. Viele Stoffe, die in Kryſtallform aus einer wäſſerigen Auflöſung ausgeſchieden werden, verbinden ſich mit einer gewiſſen Quantität Waſſer, das in dieſem Zuſtande gleichfalls feſt erſcheint. Man nennt es Kryſtalliſationswaſſer und unterſcheidet es wohl vom Hydratwaſſer, das an Baſen chemiſch gebunden iſt. Letzteres wird nach beſtimmten Verhältniſſen aufgenommen, und zwei Körper, die ſich, wenn auch nur durch die Quantität des Hydratwaſſers unterſcheiden, müſſen als chemiſch verſchieden angeſehen werden. Daher das Verändern der Kryſtalliſation bei Verluſt eines Theiles dieſes Waſſers. Das Kryſtallwaſſer verlieren viele Kryſtalle bei der gewöhnlichen Lufttemperatur ganz oder theilweiſe; dann büßen ſie aber auch ihre Kryſtallgeſtalt ein und zerfallen. Man nennt dieſes ein Verwittern (Glauberſalz.) Viele Kryſtalle, beſonders Salze, nehmen ihr in der Luft oder in der Hitze verlornes Kryſtallwaſſer wieder auf, wenn ſie mit Waſſer in Berührung kommen (Erhärten des Gipſes.) Manche Körper ſchmelzen in der Hitze in ihrem Kryſtalliſationswaſſer, wie z. B. eſſigſaures Natrum.

Manche Stoffe nehmen beim Kryſtalliſiren nicht bloß einen Theil der Mutterlauge, ſondern auch andere Flüſſigkeiten, ja ſogar Gaſe auf und zerkniſtern dann beim Erhitzen in Folge der Ausdehnung dieſes Einfluſſes. So findet man oft in Bergkryſtallen Waſſertropfen. Brewſter hat in Topaſen, Amethiſten ꝛc. ſehr viele Höhlungen (in einem Stück Cymophan von ½ Q. Zoll Fläche fand er deren 30 000) entdeckt, die mit eigenen Flüſſigkeiten angefüllt waren; ſelbſt mitten im Eis fand er Waſſertropfen (Zeitſchr. 1. 414.) Nach Dumas enthält das ſogenannte Kniſterſalz, wie man es in Wieliczka, Hallſtadt ꝛc. findet, Waſſerſtoffgas, und das Freiwerden deſſelben verurſacht das beim Auflöſen dieſes Salzes im Waſſer bemerkbare Kniſtern. In Flußſpathen fand Nicol Luft und zugleich eine tropfbare Flüſſigkeit eingeſchloſſen, die im Freien Flußſpathkryſtalle abſetzte; mit Schwerſpath erfolgte dasſelbe (Zeitſchr. 5. 107); die in Bläschen von Kochſalzkryſtallen enthaltene Flüſſigkeit liefert aber kein Kochſalz, ſondern enthält ſalzſaure Bittererde. (Zeitſchr 7. 238.)

157. Kryſtalle verdienen vorzüglich wegen ihrer mathematiſchen Eigenſchaften ein Gegenſtand der Betrachtung zu werden. Die Form eines Kryſtalls heißt ſeine Kryſtallgeſtalt. Man ſieht bei der Betrachtung einer ſolchen nicht auf ihre Größe, und macht daher zwiſchen zwei Geſtalten keinen Unterſchied, ſobald ſie in geometriſchem Sinne einander ähnlich ſind. Eine Kryſtallgeſtalt wird durch die ſie begrenzenden Flächen, welche Kryſtallflächen heißen, beſtimmt und nach der Anzahl, Figur und Lage dieſer Flächen benannt.

Man betrachtet letztere als Ebenen, wenn ſie auch dem Begriffe einer Ebene nicht völlig entſprechen, und ſetzt ſolche Abweichungen von den Eigenſchaften einer Ebene auf Rechnung zufälliger Störungen beim Bildungsprozeſſe. Dasſelbe gilt von den Kanten und Ecken, wovon jene als gerade Linien, dieſe als Körperwinkel angeſehen werden, wiewohl ſie in der Regel nur bei kleinen, ſelten bei größeren Kryſtallen genau von dieſer Art ſind. Jeder Kryſtallgeſtalt liegt Symmetrie zum Grunde, obgleich dieſelbe in den meiſten Fällen nicht auf den erſten Blick erkannt wird. Nur die Winkel, welche die Kryſtallflächen mit einander machen, erſcheinen ſtets conſtant und an eine feſte Regel gebunden, die Flächen ſelbſt ſind meiſtens theilweiſe vergrößert oder verkleinert, und man muß ſie, um die Symmetrie des Kryſtalles wahrzunehmen, erſt auf gleiche Größe reduciren, indem man im Gedanken den Kryſtall durch Schnitte, die ſeinen Flächen parallel gehen, oder auch durch Erweiterung ſeiner Flächen bis zur gegenſeitigen Durchſchneidung auf eine ſymmetriſche Form bringt. Die Symmetrie der Kryſtallgeſtalt zeigt ſich aus der übereinſtimmenden Lage der Flächen gegen gewiſſe gerade Linien, die man Axen nennt. Jede derſelben geht durch den Mittelpunct der Kryſtallgeſtalt und reicht zu zwei Hauptpuncten der Oberfläche. Solche Puncte ſind die Ecken, die Mittelpuncte der Flächen und die Halbirungspuncte einer Kante. Bietet die Kryſtallgeſtalt, nach jeder der Axen betrachtet, nicht dieſelbe Anordnung der Flächen dar, ſo wird irgend eine Axe als Hauptaxe gewählt. Schneidet eine Ebene, ſenkrecht gegen eine Axe gelegt, die Geſtalt in einer ſymmetriſchen Figur, ſo gibt man dieſer Axe vor den übrigen den Vorzug. Es gibt Geſtalten, die mehrere Hauptaxen zulaſſen, ſie heißen vielaxige, im Gegenſatze mit den einaxigen, woran ſich bloß Eine Hauptaxe vorfindet.

So ſind z. B. in einem Hexaeder (Würfel) die durch zwei gegenüberſtehende Ecken gehenden Axen anderer Art, als die durch zwei gegenüberſtehende Kantenmittelpuncte gehenden, und dieſe wieder von anderer Art, als die durch Flächenmittelpuncte gezogenen, doch ſind alle derſelben Hauptaxen. Von erſteren hat dieſe Kryſtallgeſtalt vier, von den zweiten ſechs, von den letzteren drei. Das Hexaeder iſt demnach eine vielaxige Geſtalt.

158. Einige Kryſtallgeſtalten werden von Flächen begrenzt, die gegen eine Axe einerlei Lage haben. Dieſe heißen einfache Geſtalten; ſie ſtimmen mehr oder weniger mit den ſymmetriſchen Körpern der Geometrie überein, und alle Flächen einer ſolchen gehören zu einer einzigen geometriſchen Geſtalt. Andere Geſtalten werden von Flächen begrenzt, deren einige gegen eine, die andern gegen eine zweite, oft ſogar wieder andere gegen eine dritte Axe einerlei Lage haben, an denen ſich daher Gruppen von Flächen unterſcheiden, von denen jede eine für ſich beſtehende einfache Geſtalt beſtimmt, die zum Vorſchein kommt, wenn man die in dieſer Gruppe enthaltenen Flächen bis zur wechſelſeitigen Durchſchneidung erweitert. Eine ſolche Kryſtallgeſtalt iſt da-

her der Raum, der mehreren auf dieſelben Axen ſich beziehenden einfachen, ſich wechſelſeitig durchdringenden Geſtalten gemeinſchaftlich angehört. Man nennt ſie eine Combination. Nicht immer kommen in einer ſolchen alle Flächen der einfachen Geſtalten vor, die combinirt erſcheinen, ſondern manchmal fehlt z. B. die halbe Anzahl der Flächen. Eine aus zwei gleichgeſtalteten Kryſtallen in nicht paralleler Stellung regelmäßig zuſammengeſetzte Geſtalt heißt eine Zwillingsgeſtalt. An ſolchen kommen oft einſpringende Winkel vor. Solche ſind ein entſcheidendes Merkmal einer Zwillingsgeſtalt. Von den Combinationen ſind bloße Aggregate von Kryſtallen wohl zu unterſcheiden, die durch Zuſammenwachſen zweier oder mehrerer Flächen entſtehen, und oft ſogar ſymmetriſch ausſehen.

Das Hexaeder, das Octaeder der Geometrie ſind einfache Geſtalten; die Geſtalt Fig. 39 aber iſt eine Combination des Hexaeders und Octaeders. Man kann ſie eben ſo gut als ein Hexaeder betrachten, dem durch Ebenen, welche die Lage der Octaederflächen haben, wie auch als ein Octaeder, dem durch Ebenen, welche die Lage der Hexaederflächen haben, die Ecken weggeſchnitten ſind. Sie iſt der Raum, der einem Hexaeder und Octaeder, die denſelben Mittelpunct haben, und wobei die Ecken der einen Geſtalt den Mittelpuncten der Flächen der andern entſprechen, gemeinſchaftlich angehört. Der Begriff der Combination der Kryſtallformen wurde zuerſt von Mohs, dem Gründer der wiſſenſchaftlichen Mineralogie, aufgeſtellt.

159. Daß ſich alle zuſammengeſetzten Geſtalten, ſie mögen nun Combinationen oder regelloſe Zuſammenſetzungen ſeyn, auf einfache zurückführen laſſen, iſt klar; es gibt aber ſelbſt unter den einfachen Geſtalten einen ſolchen Zuſammenhang, daß man alle ſolche aus einer geringen Anzahl derſelben durch ein beſtimmtes Verfahren ableiten kann. Dazu gibt uns die Natur ſelbſt den Fingerzeig, indem ſie manche Geſtalten mit einander combinirt hervorbringt, andere aber nicht, und ſo andeutet, es herrſche zwiſchen erſteren eine beſondere Relation, die zwiſchen letzteren fehlt. Man nennt die Geſtalt, aus der man andere ableitet, die aber ſelbſt von keiner anderen abgeleitet wird, die Grundgeſtalt. Die Art der Ableitung darf nicht willkürlich, ſondern muß von der Natur ſelbſt durch die in ihr vorkommenden Combinationen an die Hand gegeben ſeyn. Der Inbegriff aller aus einer Grundgeſtalt von beſtimmten Abmeſſungsverhältniſſen (wenn ſelbe hierin, abgeſehen von der Größe, Verſchiedenheiten zuläßt) abgeleiteten Geſtalten macht eine Kryſtallreihe aus, und der Inbegriff ſämmtlicher Kryſtallreihen, welche aus gleichartigen, d. h. nur in den Abmeſſungen verſchiedenen Grundgeſtalten entſpringen, heißt ein Kryſtallſyſtem. Zur Grundgeſtalt wählt man ſtets die einfachſte und zur Ableitung der übrigen Geſtalten ſchicklichſte einer Kryſtallreihe. In ſofern man die Abmeſſungen der Grundgeſtalt unbeſtimmt läßt, betrachtet man ſie als die Grundlage des Kryſtallſyſtems, wozu ſie gehört, und benennt dieſes nach ihr.

In Betreff der Grundgeſtalten und der davon herrührenden Kryſtallſyſteme weichen die einzelnen Kryſtallographen von einander ab, wahr-

ſcheinlich, weil manche die Ableitung für etwas von aller Erfahrung Unabhängiges, durch bloße Begriffe zu Erörterndes anſehen. Mohs, der unſeres Erachtens der Natur am getreueſten bleibt, nimmt ſieben Grundgeſtalten an, woraus auch eben ſo viele Kryſtallſyſteme hervorgehen: 1) das Hexaeder; 2) das Rhomboeder; 3) die gleichkantige vierſeitige Pyramide; 4) das Orthotyp; 5) das Hemiorthotyp; 6) das Hemianorthotyp; 7) das Anorthotyp. Das Rhomboeder iſt ein gleichſeitiges ſchiefwinkliges Parallelepiped; die fünf letzten Geſtalten ſind ſämmtlich vierſeitige Pyramiden. Die Pyramide des Kryſtallographen unterſcheidet ſich von jener des Geometers; erſtere entſteht aus letzterer, wenn dieſer eine gleichgeſtaltete in entgegengeſetzter Lage ſo angefügt wird, daß die Grundflächen, welche hier ſtets ſymmetriſche Figuren ſind, zu einer einzigen Fläche, die Baſis der kryſtallographiſchen Pyramide genannt, zuſammenſtoßen, und die Verbindungslinie der Spitzen (die Axe der Pyramide) in dem Mittelpuncte der Baſis, wie auch der Geſtalt ſelbſt, halbirt iſt. Die gleichkantige, vierſeitige Pyramide hat zur Baſis ein Quadrat, und die Axe ſteht auf ihr ſenkrecht; das Orthotyp iſt eine Pyramide mit rhombiſcher, d. h. gleichſeitiger, viereckiger, ſchiefwinkliger Baſis und darauf ſenkrechter Axe; bei dem Hemiorthotyp ſteht die Axe auf der Ebene der rhombiſchen Baſis ſchief, aber doch auf einer der Diagonalen der Baſis ſenkrecht; bei dem Hemianorthotyp macht die Axe mit jeder der Diagonalen der rhombiſchen Baſis ſchiefe Winkel; das Anorthotyp endlich erſcheint, wie man es auch immer aufſtellen mag, als Pyramide, die ein ungleichſeitiges Parallelogramm zur Baſis hat. Die aus den angeführten Grundgeſtalten hervorgehenden Kryſtallſyſteme heißen der Ordnung nach: 1) das teſſulariſche; 2) das rhomboedriſche; 3) das pyramidale; 4) das orthotype; 5) das hemiorthotype; 6) das hemianorthotype; 7) das anorthotype. Das erſte dieſer Syſteme umfaßt alle vielaxigen Geſtalten, die übrigen alle einaxigen. Weiß und Naumann nehmen ſechs Kryſtallſyſteme an. Sie heißen nach Erſterem: 1) das reguläre; 2) das zwei- und einaxige; 3) das drei- und einaxige; 4) das ein- und einaxige; 5) das zwei- und eingliedrige und 6) das ein- und eingliedrige. Dieſelben Syſteme haben bei Naumann folgende Benennungen: 1) das iſometriſche; 2) das monodimetriſche; 3) das aniſometriſche; 4) das monoklinoedriſche; 5) das diklinoedriſche und 6) das triklinoedriſche. Die erſten drei Syſteme Weiß's und Naumann's fallen mit den erſten von Mohs völlig zuſammen.

160. Mit der äußeren, regelmäßigen oder ſymmetriſchen Geſtalt der Kryſtalle ſteht auch eine große Regelmäßigkeit der Structur in Verbindung. Es laſſen ſich nämlich die meiſten kryſtalliſirten Körper, ſelbſt wenn ſie nur Bruchſtücke ganzer Kryſtalle ſind, nach gewiſſen Richtungen ſo theilen (ſpalten), daß man lauter ebene Theilungsflächen bekommt; man nennt dieſe Richtungen den Blätterdurchgang. Solcher Durchgänge gibt es in demſelben Körper wenigſtens drei, oft mehrere, doch läßt ſich nicht nach jedem die Theilung mit gleicher Leichtigkeit vornehmen; einige Körper geſtatten dieſes überhaupt nur ſehr ſchwer, und man erkennt den Blätterdurchgang nur aus feinen Streifen oder Sprüngen, manchmal ſogar nur durch ein beſonderes Verhalten gegen das Licht. Wenn man einen Kryſtall nach verſchiedenen Blätterdurchgängen ſpaltet, erhält man auch verſchiedene Theilungsgeſtalten; verrichtet man aber die Theilung nach den deut-

lichſten Durchgängen, bis von den äußeren Flächen nichts mehr übrig iſt, ſo erhält man eine ſymmetriſche, oft ſogar regelmäßige Geſtalt, welche Haüy, der den Werth und die Eigenthümlichkeiten der Theilungsverhältniſſe überhaupt zuerſt kennen gelehrt hat, **Kerngeſtalt** (forme primitive) nennt, während er die Geſtalt des ganzen Kryſtalles **abgeleitete Geſtalt** (forme secondaire) heißt. Fährt man fort, den Kern ſowohl, als die abgenommenen Blätter weiter zu ſpalten, ſo erhält man lauter kleine, ſymmetriſche Körperchen, die ſich an Geſtalt durchaus gleichen. Haüy nennt ſie **Ergänzungstheilchen** (molécules intégrantes). Man braucht ſich nicht mit der wirklichen Theilung zu befaſſen, ſondern kann die Geſtalt ſolcher Körperchen aus dem Kerne und der Richtung der Blätterdurchgänge erkennen. So z. B. iſt es leicht einzuſehen, daß bei einem Hexaeder, einem Rhomboidaldodekaeder und einem ſechsſeitigen Prisma, deren Blätterdurchgänge mit den Flächen des Kernes gleichlaufend ſind, die Ergänzungstheilchen die Geſtalt eines Parallelepipedums, eines Tetraeders und eines dreiſeitigen Prisma's haben müſſen.

Als Beiſpiel einer hieher gehörigen Unterſuchung mag die Spaltung eines Kalkſpathes dienen, der in der Form einer ſechsſeitigen Säule erſcheint, wie Fig. 40 zeigt. Setzt man in a b parallel mit A B ein Meſſer an, und drückt darauf, ſo ſpringt ein Stück a b c d weg. Dasſelbe geſchieht, wenn man das Meſſer parallel mit D F oder C E anſetzt, nicht aber in Richtungen, die mit A C, B D oder E F gleichlaufend ſind. Unten wird gerade das Gegentheil Statt finden; da wird man parallel mit H K, L M, I G mit Erfolg die Spaltung verſuchen, nicht aber in Richtungen, die mit GH, KM, LI gleichlaufend ſind. Wenn man ſo mit der Spaltung fortfährt, kommt man auf eine rhomboedriſche Kerngeſtalt. Daß eine ſolche Spaltung nicht bei jedem Kryſtalle ausführbar ſey, kann man wohl leicht begreifen; ſie iſt auch zur Kenntniß der Kerngeſtalt nicht unumgänglich nöthig; denn wenn man an irgend einem Kryſtalle die Richtung der Spaltungsebenen durch Meſſung beſtimmt, ſo kann man mittelſt Rechnung die Geſtalt des Kernes finden, der übrig bliebe, wenn die Blätter nach dieſen Richtungen weggenommen würden.

Man kennt bis jetzt ſechs Kerngeſtalten, nämlich: 1) das Tetraeder; 2) das Parallelepiped; 3) das Octaeder (worunter Haüy nebſt dem regelmäßigen, auch noch jede vierſeitige Pyramide verſteht); 4) das regelmäßige ſechsſeitige Prisma; 5) das Dodekaeder mit vierſeitigen Flächen; 6) das Triangulardodekaeder. Ueber die Anzahl und Geſtalt der Ergänzungstheilchen iſt man nicht durchaus einerlei Meinung. Einige nehmen bloß ſphäriſche Ergänzungstheilchen an, andere polyedriſche. Haüy betrachtet das Parallelepiped, das Tetraeder und die dreiſeitige Säule als ſolche, weil dieſe Körper von der möglichſt geringſten Anzahl von Flächen begrenzt ſind, durch welche überhaupt ein Raum eingeſchloſſen werden kann und die zur Bildung aller Formen hinreichen. Aus dieſen Theilchen läßt er die Kryſtalle dadurch entſtehen, daß ſie ſich reihenweiſe an einander legen. Die große Verſchiedenheit der Kryſtallgeſtalten bei einer ſo geringen Anzahl von verſchiedenen Elementen, aus denen ſie beſtehen, leitet er daraus her, daß die Schichten ſtufenweiſe abnehmen, ſo wie ſie ſich von der Kerngeſtalt entfernen, und zwar entweder bloß an den Ecken oder an den Kanten oder in einer Zwiſchenlage. Man kann ſich dieſes am beſten

durch Modelle verſinnlichen. (Seeber in Gilb. Ann. 76 229. Unterſuchungen über die Formen der unorganiſchen Natur, von Hausmann. Göttingen. 1822)

161. Körper von derſelben materiellen Beſchaffenheit kommen zwar in verſchiedenen Kryſtallformen vor, doch gehören meiſtens alle in dasſelbe Kryſtallſyſtem und laſſen ſich demnach von einer einzigen Grundgeſtalt ableiten. So z. B. kryſtalliſirt der Diamant in Octaedern, Würfeln, Tetraedern, Dodekaedern, Ikoſitetraedern, Tetracontaoctaedern, aber alle dieſe Geſtalten laſſen ſich vom Würfel ableiten. Es gibt aber Ausnahmen von dieſer Regel und zwar ſowohl bei chemiſch einfachen als bei zuſammengeſetzten Körpern. So z. B. kryſtalliſirt der Schwefel in zwei verſchiedenen, nicht von einander ableitbaren Geſtalten, oder er iſt, wie man zu ſagen pflegt, dimorph. Dasſelbe findet beim kohlenſauren Kalk Statt. Mohs zählt davon 45 einfache Geſtalten und 42 verſchiedener Combinationen auf, die alle vom Rhomboeder abgeleitet werden können: aber auch 16 andere einfache Formen und 7 Combinationen, die das Orthotyp zur Grundgeſtalt haben. Es ſind noch nicht alle Urſachen bekannt, welche die Verſchiedenheit der Kryſtallformen deſſelben Stoffes bedingen, gewiß iſt es aber, daß die Gegenwart eines fremdartigen Stoffes in der kryſtallrechten Flüſſigkeit, ſelbſt wenn er nicht mitkryſtalliſirt; ferner der Umſtand, ob der Kryſtall aus einer Löſung oder chemiſchen Verbindung ausgeſchieden wird oder aus einer geſchmolzenen Maſſe beim Erkalten anſchießt, endlich ob dieſes Anſchießen bei höherer oder niederer Temperatur erfolgt, von großem Einfluſſe ſey.

So z. B. kryſtalliſirt Salmiak aus einer reinen wäſſerigen Löſung in Octaedern, aus einer viel Harnſtoff enthaltenden in Würfeln, aus einer mit wenig Harnſtoff oder Borſäure verſetzten in einer Combinationsform eines Würfels und Octaeders. Schwefel ſchießt aus einer Löſung in Schwefelkohlenſtoff oder Chlorſchwefel in einer zum orthotypen Syſtem gehörigen, aus geſchmolzenem langſam erkaltendem Schwefel, in einer ins hemiortotype Syſtem fallenden Geſtalt an. Eine Auflöſung des kohlenſauren Kalkes, in Kohlenſäure haltendem Waſſer langſam verdunſtet, gibt rhomboedriſche Kalkſpathkryſtalle, ſchnell im Waſſerbad verdunſtet hingegen Arragonitkryſtalle. Ueberhaupt kryſtalliſirt der kohlenſaure Kalk bei ungefähr 100° C. als Arragonit, aber ſowohl bei niederer Temperatur als in der Glühhitze als Kalkſpath. (Roſe in Pogg. Ann. 42 353.)

162. Da es nur wenige Kryſtallſyſteme, aber unzählige kryſtalliſirbare Körper von verſchiedener chemiſcher Zuſammenſetzung gibt, ſo müſſen wohl viele Körper von ungleicher Zuſammenſetzung Kryſtalle geben, die in dasſelbe Syſtem gehören. Bei den regelmäßigen Körpern (den ſogenannten regulären oder teſſulariſchen Kryſtallgeſtalten) iſt wohl niemal eine Verſchiedenheit der Winkel zuläſſig und dahin gehörige Kryſtalle derſelben Formen müſſen demnach ganz mit einander übereinſtimmen; bei den übrigen iſt aber, wenn ſie auch einer beſtimmten Form angehören, noch eine Abweichung in den Winkeln möglich. So z. B. iſt der Würfel des Kochſalzes jenem des

Flußſpathes in dieſer Beziehung gleich, aber das Rhomboeder des Kalkſpathes iſt von jedem des Eiſenſpathes in den Winkeln verſchieden. Daß Körper mit verſchiedenem chemiſch gebundenen Waſſergehalte ungleiche Kryſtallgeſtalten zeigen iſt wohl eben ſo natürlich, als daß die ſchwefelſauren Salze anders kryſtalliſiren als die unterſchwefelſauren oder ſchwefeligſauren. Merkwürdig iſt das von Mitſcherlich entdeckte Verhalten, daß ſich Stoffe in ihren chemiſchen Verbindungen vertreten können, ohne daß die Kryſtallform, Winkelverſchiedenheiten abgerechnet, dadurch geändert werde. Man nennt ſolche Stoffe iſomorphe.

Von der Art ſind z. B. phosphorſaure und arſenſaure Salze; denn man kann in jedem phosphorſauren Salze die Phosphorſäure durch Arſenſäure erſetzen, ohne dadurch die Kryſtallgeſtalt im Allgemeinen zu ändern. Eben ſo haben kohlenſaurer Kalk $Ca\,O.\,CO_2$ und kohlenſaure Bittererde $Mg\,O.\,CO_2$, Salmiak $N_2\,H_8\,Cl_2$ und Chlorkalium ($K\,Cl_2$) einerlei Kryſtallgeſtalten oder es ſind Kalk und Bittererde, Kalium und Ammoniak iſomorph. Man ſieht aus dieſen Beiſpielen, daß nicht alle iſomorphen Stoffe aus derſelben Anzahl von Atomen beſtehen und daß daher ein zuſammengeſetztes Atom ein einfaches vertreten kann, ohne Störung der Kryſtallgeſtalt. Iſomorphe Körper, auf analoge Weiſe zu chemiſchen Verbindungen zuſammengeſetzt, geben in der Regel auch iſomorphe Producte, doch darf nicht umgekehrt aus dem Iſomorphismus analog zuſammengeſetzter Verbindungen auf Iſomorphismus der entſprechenden Beſtandtheile geſchloſſen werden, indem auch Verbindungen iſomorph ſeyn können, ohne daß dieſes ihre Beſtandtheile ſind. Im Allgemeinen kann man vollkommene oder doch annähernde Gleichheit der Aequivalentenvolume als Bedingung des Iſomorphismus anſehen. (Mitſcherlich in Pogg Ann. 11. 323. 12. 137. und 17. 385; 25. 300; 49. 401. Kopp ebend. 51. 262; 53, 446. Gmelins Handbuch der Chemie. I. 82).

163. Schon fertig gebildete Kryſtalle können, ohne inzwiſchen die flüſſige Form angenommen zu haben, in andere übergehen, und es müſſen daher die kleinſten Theile derſelben ſchon im feſten Zuſtande die hiezu nöthige Verſchiebbarkeit beſitzen. Bringt man z. B. einen Kupfervitriolkryſtall langſam in Alkohol, ſo wird er matt, ohne ſeine äußere Form zu verlieren, zerbricht man ihn aber, ſo zeigt er im Innern unzählige, neu gebildete Kryſtalle, deren Geſtalt von jener des Ganzen abweicht. Schwefelkryſtalle, die aus langſam geſtocktem Schwefel entſtanden ſind, erſcheinen anfangs völlig durchſichtig und dunkelgelb, bewahrt man ſie aber einige Tage bei gewöhnlicher Temperatur auf, ſo werden ſie undurchſichtig und blaßgelb, und ſtatt der früheren Kryſtallgeſtalt, welche eine vierſeitige Pyramide mit rhombiſcher Baſis iſt, findet man ein Aggregat kleiner Kryſtalle, deren jeder ein vierſeitiges ſchiefes Prisma vorſtellt. Erhitzt man den in Prismen kryſtalliſirten kohlenſauren Kalk (Arragonit), ſo zerſpringt er in rhomboedriſche Formen. Gerſtenzucker (amorpher Zucker) der friſch bereitet durchſichtig und von muſcheligem Bruche iſt, wird mit der Zeit von ſelbſt undurchſichtig und zeigt im Innern Kryſtallgeſtalten. Man will ſogar wahrgenommen haben, daß die eiſernen Axen der Locomo-

tivräder durch die mit dem längern Gebrauche derſelben verbundene Erſchütterung ein Kryſtallgefüge annehmen und glaubt daraus die ſo häufig vorkommenden Axenbrüche erklären zu können.

164. Ob eine Maſſe kryſtalliſirt erſcheint oder nicht, und in welcher Geſtalt ſie angeſchoſſen iſt, das hat auf ihre phyſikaliſchen und chemiſchen Eigenſchaften einen nicht unbedeutenden Einfluß. Kryſtalliſirte Stoffe ſind meiſtens härter und ſpröder als amorphe, ja nicht jede Form, in welcher ſie kryſtalliſirt erſcheinen, hat gleiche Härte und an demſelben Kryſtalle ſind nicht alle Stellen gleich hart; ſelbſt ihre Elaſticität iſt nach verſchiedenen Richtungen verſchieden. Mancher Körper erſcheint durchſichtig im kryſtalliſirten und undurchſichtig im amorphen Zuſtande, bei anderen findet das Gegentheil Statt. Von der Kryſtallgeſtalt hängt, wie in der Folge näher gezeigt werden wird, die eigenthümliche Wirkung auf das Licht ab, die man doppelte Brechung und Polariſation nennt, ſo wie die Größe und Gleichmäßigkeit der Ausdehnung in der Wärme, die Fähigkeit durch Erwärmung electriſch zu werden ꝛc. ꝛc. Eine kryſtalliſirte Maſſe widerſteht chemiſchen Kräften mehr als eine amorphe von derſelben Natur, jene iſt in der Regel ſchwerer brennbar als dieſe. Dieſe ungleiche Beſchaffenheit eines Körpers bei derſelben chemiſchen Natur begründet das, was man ſeine **allotrophiſchen** Zuſtände zu nennen pflegt. Sie äußern ſich oft ſogar noch in den chemiſchen Verbindungen, die ein Körper eingegangen iſt und finden ſich nicht bloß bei verſchieden kryſtalliſirten und amorphen Körpern, ſondern kommen ſelbſt bei verſchiedenen amorphen Zuſtänden vor.

Der kryſtalliſirte Kohlenſtoff (Diamant) iſt der härteſte, der amorphe, ein kaum hart zu nennender Körper; kryſtalliſirte Thonerde (Saphir) bietet eine ausnehmende, amorphe eine kaum bemerkbare Härte dar. Schwefel iſt in Kryſtallform durchſichtig, als Aggregat von kleinen Kryſtallen oder unkryſtalliſirt undurchſichtig; eben ſo verhält ſich Phosphor, während bei Glas das Gegentheil Statt findet. Ein Kochſalzkryſtall löſet ſich ſchwerer im Waſſer auf, als eine nicht kryſtalliniſche Maſſe deſſelben Körpers; Weißblech widerſteht an Stellen, wo das Zinn in Kryſtallen angeſchoſſen iſt, der Einwirkung der Salpeterſäure mehr als an anderen, worauf die Bereitung des Metallatlaſſes (moiré métallique) beruht. Auch das Damasciren des Stahles, die Erzeugung ſtrahliger Zeichnungen auf Meteorſteinflächen beruht auf einem ſolchen Verfahren.

Sehr merkwürdige allotropiſche Zuſtände bieten Kohlenſtoff, Schwefel und Phosphor dar. Man bezeichnet ſie durch Beifügung der Buchſtaben α, β, γ ꝛc. zu den chemiſchen Zeichen dieſer Stoffe. C_α bedeutet den Kohlenſtoff in der Form, wie er den Diamant bildet. Dieſer iſt völlig feuerbeſtändig ohne Luftzutritt, und braucht ſelbſt bei Luftzutritt eine höhere Temperatur zum Verbrennen als gemeine Kohle. C_β kommt theils natürlich vor, theils kann er künſtlich erzeugt werden; erſterer erſcheint als Graphit, iſt meiſtens amorph, ſelten kryſtalliſirt, letzterer ſchießt aus mit Kohlenſtoff ſtark überſättigtem Roheiſen beim Erſtarren deſſelben an, kann aber auch beim Verkoaxen der Steinkohlen als Coaks erhalten werden. In dieſer Form hat der Kohlenſtoff ein geringeres ſpezifiſches Gewicht als in

C_α und iſt eben ſo ſchwer verbrennbar wie letzterer. C_γ erſcheint als Lampenruß, und wird durch Verkohlen ſtickſtofffreier Körper erhalten. Er iſt leicht entzündlich, wahrſcheinlich ſp. leichter als C_α oder C_β. In großer Hitze gehen C_α und C_γ in C_β über.

Auch der Schwefel hat drei allotropiſche Zuſtände S_α, S_β und S_γ. Als S_α iſt er gelb, durchſichtig und in einer Form kryſtalliſirt, die ins ortotype Syſtem gehört; S_β iſt braun und durchſichtig, doch werden ſeine Kryſtalle bald gelb und undurchſichtig und zwar ſehr ſchnell, wenn man ſie ſchüttelt, ſtößt oder mit einem Worte reizt, wobei ſie in S_α übergehen. Im undurchſichtigen Zuſtande haben ſie ein größeres ſpec. Gewicht als im durchſichtigen. S_γ iſt braun, amorph und zäh, von kleinerem ſpec. Gewichte als S_β. Beim Erkalten geht S_γ ſucceſſiv in S_β, zuletzt gar in S_α über. Der Phosphor erſcheint in der Form P_α als durchſcheinender, faſt farbloſer, in der Kälte kryſtalliſirbarer Körper, in der Form P_β als milchweiße, weiche undurchſichtige Maſſe, die ſchwerer ſchmilzt als P_α und dabei in letztere Form übergeht. P_γ entſteht aus P_α im Sonnenlichte und im luftleeren Raume, iſt weich, raucht nicht in der Luft wie P_α und P_β und fordert zum Verflüchtigen eine höhere Temperatur als dieſe, geht aber dabei in dieſelben über. (Die Lehre von der Cohäſion von **Frankenheim**. Breslau 1834. **Berzelius** in Ann der Chemie und Pharmacie. 46. 129.)

Ueber Kryſtalliſation ſiehe: **Mohs** Naturgeſchichte des Mineralreichs. Wien 1836. Elemente der Kryſtallographie von G. **Roſe**. Berlin 1833. Die Kryſtalliſation in geom. und phyſ. Hinſicht von **Brochant de Villiers**. Heidelberg 1820. Anfangsgründe der Kryſtallographie von D. C. **Naumann**. Dresden 1841. Geſchichte der Kryſtallographie von **Marx**. Carlsruhe 1825.

B. Widerſtand gegen Verſchiebung und gegen Trennung der Theile.

165. Die Theile eines feſten Körpers ſind nicht ſo unveränderlich mit einander verbunden, daß ſie nicht eine Verſchiebung erleiden könnten, ohne ihren Zuſammenhang zu verlieren; doch ſetzen ſie jeder Kraft, welche eine ſolche zu bewirken ſucht, einen Widerſtand entgegen und die Verſchiebung ſelbſt kommt nur dann zu Stande, wenn die Kraft die hiezu nöthige Größe hat. Es iſt keine andere Tendenz einer ſolchen Kraft denkbar, als die Theile des betreffenden Körpers von einander mehr zu entfernen oder ſie einander mehr zu nähern. Dieſe Kraft mag nun auf die eine oder die andere Weiſe wirken, ſo wird der Widerſtand, den ihr der Körper entgegenſetzt, deſto größer, je mehr die Theile bereits aus ihrer natürlichen Lage gebracht ſind. Ueberſchreitet die Verſchiebung eine gewiſſe Grenze nicht, ſo verſchwindet ſie auch, ſobald die äußere Kraft zu wirken aufgehört hat, und es kehrt die frühere relative Lage der Theile wieder zurück; geht ſie aber über jene Grenze hinaus, ſo bleibt ein Theil der bewirkten Verſchiebung zurück, ja bei einer gewiſſen Größe der Kraft erfolgt ſogar eine Trennung der Theile.

166. Die Eigenſchaft eines feſten Körpers, vermöge welcher er

die natürliche Lage der Theile, die durch eine äußere Kraft geändert worden iſt, wieder annimmt, ſobald dieſe Kraft zu wirken aufgehört hat, nennt man ſeine Elaſticität, und die innere Kraft, durch welche er dieſes thut, ſeine Federkraft oder Spannkraft. Ein Körper heißt vollkommen elaſtiſch, wenn die urſprüngliche Lage ſeiner Theile wieder vollkommen zurückkehrt, nachdem die äußere Einwirkung, welche ſie geändert, zu wirken aufgehört hat, hingegen unvollkommen elaſtiſch, wenn dieſes nur zum Theile geſchieht. Es gibt aber keinen Körper, der für Kräfte von jeder beliebigen Größe vollkommen elaſtiſch wäre, ſo wie es im Gegentheile keinen zu geben ſcheint, der nicht für irgend eine, wenn auch nur kleine Kraft vollkommene Elaſticität beſäße. Es iſt demnach nicht bloß Elaſticität, ſondern ſogar vollkommene Elaſticität eine allgemeine Eigenſchaft aller feſten Körper. Im gemeinen Leben nennt man nur jene Körper elaſtiſch, die durch eine mäßige Kraft ſchon eine merkliche Verſchiebung erleiden, welche wieder vollkommen verſchwindet, wenn die Wirkſamkeit der Kraft vorüber iſt, wie z. B. mäßig gehärteter Stahl, gehämmertes Meſſing, dünne Glasſtreifen, Cautſchouk, während man dem Thone, dem Blei, dem glasharten Stahle ꝛc dieſe Eigenſchaft abſpricht, ungeachtet die einen nur für kleine Kräfte noch vollkommen elaſtiſch ſind und letzterer nur durch ſtarke Kräfte eine bemerkbare Verſchiebung erfährt.

Die ſchönen Verſuche von Marchand und Scherer über das ſpecifiſche Gewicht der Metalle (Erdmann's Journal für praktiſche Chemie. B. 27) zeigen zwar, daß Metalle, namentlich Kupfer und Antimon, durch die ſtärkſte Preſſung keine bleibende Volumveränderung mehr erleiden, wenn die Metalltheile vor der Anwendung des Druckes ſchon im ſtetigen Zuſammenhange waren, welches ſo viel ſagen will, als dieſelben ſeyen für jede Kraft vollkommen elaſtiſch; allein ſo vereinzelte Fälle ſind doch noch nicht geeignet, ein allgemeines Geſetz zu begründen. ſie dürfen aber nicht unbeachtet bleiben und werden wahrſcheinlich bald eine weitere Unterſuchung dieſes Gegenſtandes veranlaſſen. Vor der Hand mag es genug ſeyn, ihrer erwähnt zu haben.

167. Innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elaſticität ſind die Verſchiebungen, welche die Theile eines Körpers durch eine äußere Kraft erfahren, der Größe dieſer Kraft oder was dasſelbe iſt, dem Widerſtande der Spannkraft proportionirt, ſo daß eine doppelte oder dreifache Kraft auch eine doppelte oder dreifache Verſchiebung bewirkt. Dieſes iſt durch Verſuche ausgemittelt worden. Man hat nämlich 1) Metallſaiten oder elaſtiſche Stäbe durch angehängte Gewichte in die Länge gezogen und die dadurch erzeugte Verlängerung gemeſſen; 2) eben ſolche Stäbe durch aufgelegte Gewichte zuſammengedrückt und die dadurch bewirkte Verkürzung beſtimmt; 3) dieſelben in horizontaler Lage an einem Ende eingeſpannt, am andern durch angehängte Gewichte gebogen und den Biegungswinkel gemeſſen; 4) vertical aufgehängte, am oberen Ende befeſtigte, unten durch ein Gewicht geſpannte Metallfäden am untern Ende um einen Winkel gewunden und die windende Kraft mit dem Windungswinkel verglichen; 5) Kugeln von El-

fenbein, Cautſchouk ꝛc. auf eine mit Fett dünn beſtrichene ebene Platte von einer beſtimmten Höhe herabfallen laſſen und den durch die platt gedrückte Kugel auf letzterer erzeugten Fleck gemeſſen. Alle dieſe Verſuche haben im Allgemeinen das vorhin ausgeſprochene Geſetz beſtätigt.

168. Dieſem Geſetze zu Folge genügt es, um vom Elaſticitätszuſtande eines Körpers eine beſtimmte Vorſtellung zu bekommen, die größte Kraft zu kennen, für die er noch vollkommen elaſtiſch iſt, und die Größe der Verſchiebung, welche durch ſelbe bewirkt wird; denn jede mindere Kraft bringt eine ihrer Wirkſamkeit angemeſſene kleinere Verſchiebung hervor. Man nennt jene größte Kraft die Elaſticitätsgröße, weil ſie in der That die Größe der Spannkraft angibt, und die durch ſie bewirkte Verſchiebung die Elaſticitätsgrenze. Die Zahl, welche man erhält, wenn man jene Größe durch dieſe dividirt, gibt das Maß der Spannkraft, den Elaſticitätsmodulus an. Als Einheit dieſer Kraft iſt jene anzuſehen, durch welche ein Prisma vom Querſchnitte = 1 um eine ſeiner Länge gleiche Größe geſtreckt werden könnte, wenn dieſes noch innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elaſticität läge. (Lectures of natural philosophy by *Th. Young*. London 1807. I. 137. II. 46.)

169. Homogene Körper beſitzen an allen Stellen dieſelbe Spannkraft, heterogene und kryſtalliſirte hingegen ſind an einigen Stellen mehr oder weniger elaſtiſch als an anderen. Hämmern und raſches Abkühlen, ſo wie ein anhaltendes Wirken der äußeren eine Verſchiebung der Theile erzeugenden Kraft ꝛc. ändern die Elaſticitätsgröße, wie man dieſes an Meſſing, Stahl, an einem lange Zeit hindurch geſpannten Bogen oder einer eben ſo behandelten Feder wahrnehmen kann. Daß chemiſche Beimiſchungen ſelbſt in ſehr geringen Quantitäten den Elaſticitätszuſtand modificiren müſſen, iſt für ſich klar. Indeß darf man nicht vergeſſen, daß das Maß der Elaſticität eines Körpers geändert werden kann, ohne daß dadurch die durch eine beſtimmte Kraft bewirkte Dehnung oder Zuſammendrückung afficirt wird. Nach Lagerhjelm's Verſuchen erleiden alle Arten Eiſen, ſie mögen hart, weich oder brüchig ſeyn, durch eine beſtimmte Kraft eine gleiche Dehnung, ja ſelbſt das Strecken hat hierauf keinen Einfluß; aber hartes Eiſen beſitzt eine bedeutendere Elaſticitätsgröße und Elaſticitätsgrenze als weiches, und geſtrecktes verhält ſich eben ſo gegen ungeſtrecktes (Lagerhjelm in Pogg. Ann. 13. 404; 17. 348 Maſſon in Pogg. 56. 157). Nach Wertheim (Pogg. Ann. 57. 382) ändern alle Umſtände, welche die Dichte eines Metalles modificiren, auch das Elaſticitätsmaß, dasſelbe nimmt ab, wenn die Temperatur wächſt. Hölzer haben nach der Länge ein größeres Elaſticitätsmaß als nach der Quere der Faſern (Hagen in Pogg. Ann. 58. 125.). Nachfolgende Tafel enthält einige Maße der Elaſticität. Den 9 erſten liegt das ſchwediſche Schiffspfund und die Quadratdecimallinie, den folgenden der pr. Quadratzoll und das Tauſendfache des pr. Pfundes zum Grunde.

Stangeneiſen	1070	Kiefer nach der Quere .	37
Stahl	1085	Fichte nach den Faſern .	1945
Gußeiſen	658	» » der Quere .	23
Kupfer	686	Eiche nach den Faſern .	1537
Meſſing, gezogen . .	522	» » der Quere .	150
» gegoſſen . .	325	Rothbuche nach den Faſern	2168
Silber	443	» nach der Quere	97
Blei	118	Weißbuche nach d. Faſern	2145
Glas	368	» » der Quere	94.5.
Kieferholz nach den Faſern	1760		

170. Iſt bei einem Körper die Elaſticitätsgrenze einmal überſchritten, ſo bleibt ein Theil der erlittenen Verſchiebung noch zurück, wenn auch die äußere Kraft zu wirken aufgehört hat. In Bezug auf eine ſolche bleibende Verſchiebung nennt man einen Körper zähe, oder nach Beſchaffenheit der Kraft, die auf ihn wirkt, dehnbar, hämmerbar ꝛc. Man kann die Grenze der Zähigkeit durch die Zahl ausdrücken, welche man erhält, wenn man die Dehnung, welche der betreffende Körper bis zum erfolgenden Zerreißen erfährt, durch ſeine urſprüngliche Länge dividirt. Im gemeinen Leben nennt man nur ſolche Körper zähe oder dehnbar, bei denen dieſe Zahl eine namhafte Größe iſt. Wahrſcheinlich gibt es eine beſtimmte Relation zwiſchen dieſer Zahl und der Elaſticitätsgrenze; für Eiſen glaubt Lagerhjelm eine ſolche gefunden zu haben (es iſt nämlich das Product aus der Elaſticitätsgrenze in der Quadratwurzel der Dehnbarkeitsgrenze eine conſtante Größe). Die Grenze der Dehnbarkeit iſt ſelbſt bei ſolchen Körpern verſchieden, welche dieſelbe Elaſticität beſitzen, wie z. B. bei weichem und harten Eiſen. Körper von ſehr geringer Dehnbarkeit (oder überhaupt Verſchiebbarkeit) nennt man ſpröde Es ſteht demnach die Sprödigkeit im verkehrten Verhältniſſe zur Dehnbarkeit und kann wie dieſe nummeriſch ausgedrückt werden. Körper, welche bis zur erfolgten Trennung der Theile zwar eine große Verſchiebung erleiden aber dazu nur eine verhältnißmäßig kleine Kraft brauchen, heißen weich, ſolche, die ſchon bei geringer Verſchiebung eine Trennung ihrer Theile erfahren, aber dazu eine große Kraft brauchen, werden hart genannt. Ein Beiſpiel von erſteren gibt warmes Wachs, naſſer Thon, von letzterem der Diamant.

171. Werden die Theile eines Körpers über die Grenzen ſeiner Dehnbarkeit verſchoben, ſo erfolgt eine Trennung derſelben, und der Körper wird zerriſſen, zerdrückt, zerbrochen oder endlich abgedreht. Beim Zerreißen wird der Körper an einem Ende vertical eingeſpannt und am andern Ende ſo lange mit Gewichten belaſtet, bis er reißt. Dieſes Gewicht, um ſo viel vermehrt, als das abgeriſſene Stück ſelbſt wiegt, iſt zwar etwas größer als der Zuſammenhang der getrennten Theile, kann aber für die Größe des Zuſammenhanges angenommen werden, wenn man die dem Körper angehängte Laſt nur um kleine Unterſchiede wachſen ließ. Man kann das

zum Zerreißen erforderliche Gewicht anfänglich beiläufig beſtimmen und durch einen zweiten genaueren Verſuch verbeſſern. Beim Zerdrücken ſetzt man den Körper auf eine feſte Unterlage und belaſtet ihn von oben ſo lange, bis die Trennung erfolgt. Beim Zerbrechen wird er in horizontaler Lage an einem oder an beiden Enden befeſtiget und außer der unterſtützten Stelle belaſtet, bis der Zweck erreicht iſt. Beim Zerdrehen befeſtiget man ihn ebenfalls an einem Ende und bringt am andern die Kraft an, welche nach der Tangente eines Kreiſes wirkt und ihn zu drehen ſucht. Die Größe der zum Zerreißen nöthigen Kraft hängt von der Cohärenz der Theile und vom Querſchnitte an der Trennungsſtelle ab. Sollen daher Zerreißungsverſuche auf die relative Größe der Cohärenz der Theile verſchiedener Körper zu ſchließen erlauben, ſo müſſen dieſe gleiche Querſchnitte haben, oder man muß die Reſultate durch Rechnung auf gleiche Querſchnitte reduciren.

Verſuche dieſer Art ſind von vielen Gelehrten angeſtellt worden; man beſchränkte ſich dabei aber vorzüglich auf Metalle, Holz und Stricke, weil man ſich von dieſen die größte Anwendbarkeit verſprechen konnte. Man fand, daß die Metalle im Allgemeinen eine größere Feſtigkeit haben, als die Hölzer, daß aber ſelbſt unter Metallen eine große Verſchiedenheit in Bezug auf Feſtigkeit Statt findet. Unter übrigens gleichen Umſtänden ergibt ſich aus Muſſchenbroek's Verſuchen folgende Ordnung der Metalle, vom feſteſten angefangen: Eiſen, Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Wismuth, Zink, Spießglanz, Blei. Gegoſſene Metalle ſind in der Regel ſchwächer als geſchmiedete; warme ſind wieder ſchwächer als kalte. Bei den meiſten Metallen hat ſchnelles Abkühlen eine große Veränderung der Feſtigkeit zur Folge, doch iſt dieſe Veränderung nicht für alle von derſelben Art. So wird z. B. Eiſen dadurch ſtärker, Kupfer ſchwächer. Mäßiges Hämmern ſtärkt, zu heftiges ſchwächt den Zuſammenhang, letzteres wahrſcheinlich deßhalb, weil es die Sprödigkeit zu ſehr vermehrt, daß der geringſte, ungleich angebrachte Schlag kleine Riſſe erzeugt. Die chemiſche Miſchung ändert die Feſtigkeit bedeutend, und es kommt dabei nicht bloß auf die Verſchiedenheit der in der Miſchung enthaltenen Stoffe an, ſondern auch auf das Verhältniß ihrer Mengen. Dieſes beſtätigen die Compoſitionen zu Stückgut, Glockenſpeiſe, Tomback, Semilor. Oft reicht ein ſehr kleiner Zuſatz eines Stoffes hin, die Feſtigkeit ungemein zu verſtärken. So wird Eiſen durch Kohlenſtoff zu Stahl, und gewöhnlicher Stahl nach Faraday durch $^1/_2$ Proc. Silber, oder noch beſſer durch $^1/_2$ Proc. Rhodium ungemein verbeſſert (Gilb Ann. 69 179). Holz iſt ſchwächer als Metall; unter den gewöhnlichen Holzarten haben das Buchen- und Eichenholz die meiſte Feſtigkeit; alle weichen Holzarten ſind viel ſchwächer als die harten. Im Allgemeinen folgen die Hölzer nach ihrer Feſtigkeit ſo auf einander: Buche, Eſche, Linde, Ulme, Tanne, Fichte. Aber nicht jedes Holz deſſelben Namens hat auch dieſelbe Stärke; denn anders iſt die Feſtigkeit an Bäumen, die in Gebirgsgegenden wachſen, anders an jenen, die im flachen Lande fortkommen, ja an demſelben Baume haben Stamm, Aeſte und Wurzeln eine verſchiedene Feſtigkeit. Um die Feſtigkeit der Stricke zu erfahren, nahm man ſelbe von verſchiedener Dicke, aus einer verſchiedenen Anzahl von Litzen und Fäden beſtehend, von verſchiedenem Materiale gemacht, mehr oder weniger gedreht. Den Verſuchen gemäß ſind Stricke von derſelben Dicke deſto ſtärker, je feiner der Flachs oder Hanf war, aus dem ſie beſtehen, und je weniger ſie zuſammengedreht ſind. Durch das Zuſammendrehen

kommen die Fäden ſchon in einen geſpannten Zuſtand, und vertragen daher ohne zu Zerreißen keine ſo große Kraft als im ungedrehten Zuſtande. Deßhalb ſollen auch Stricke nicht mehr gedreht werden, als bis die Fäden dadurch $1/6$ ihrer Länge verloren haben. Man hat, um den durch das Zuſammendrehen entſtehenden Nachtheil zu beſeitigen, ſchlauchförmig gewebte Stricke empfohlen. Naſſe Hanfſeile und Baumwollgarne ſind ſtärker als trockene; ungetheerte ſtärker als getheerte. Geflochtene Schnüre ſind ſtärker als gedrehte, ungebleichte ſtärker als gebleichte, ſeidene ſtärker als leinene von derſelben Dicke; eine Schnur von Menſchenhaar iſt ſtärker, als eine eben ſo dicke von Pferdehaaren. Nach Gerſtner's Verſuchen, die mit Clavierdrähten, Stahlfedern und Blechſtreifen angeſtellt wurden, herrſcht zwiſchen der dehnenden Kraft p und der dadurch bewirkten Dehnung e folgende Relation: $p = e\,(A - B\,e)$, wo A und B durch Verſuche zu beſtimmende Größen ſind. Daraus ergibt ſich für die größte Dehnung E die Gleichung $E = \frac{A}{2\,B}$ und für die größte dieſer Dehnung entſprechende Belaſtung $P = 1/2\,A\,E$. (Gerſtner's Mechanik Bd. I. S. 263.)

172. Beim Zerdrücken fallen die Reſultate der Verſuche ſehr verſchieden aus, je nachdem der Körper lang oder kurz iſt. Am reinſten ſind ſie bei kurzen Körpern, weil dieſe ſich nicht biegen. Auch hier ändert ſich zuerſt der Körper durch Einwirkung der drückenden Kraft, er verkürzt ſich und wird dicker; ſo wie aber die Kraft die rechte Stärke erlangt hat, erfolgt der Bruch entweder dadurch, daß die oberen Theile wie Keile die unteren aus einander treiben, oder dadurch, daß die oberen über die unteren hinweggleiten. Harte, homogene und feinkörnige Steine zerfallen in Blätter oder in verticale Nadeln; einige Steine theilen ſich zuerſt in verticale Pyramiden, deren Spitzen einander zugekehrt ſind und die keilförmig auf einander wirken, bis ſie ſich zu Staub zerdrückt haben. Die zum Zerdrücken nöthige Kraft wächſt mit dem Querſchnitte, und iſt bei einerlei Größe deſſelben deſto bedeutender, je kleiner der Umfang dieſes Querſchnittes iſt. Vergrößerung der Höhe vermindert den Widerſtand des Körpers.

173. Eine Kraft, die einen Körper zu zerbrechen ſucht, entfernt zuerſt die an der converen Seite liegenden Theile, und nähert die an der concaven liegenden; nur gewiſſe im Innern des Körpers liegende Theile behalten ihre natürliche Lage. Sind die Theile eines Querſchnittes ſo ſehr gedehnt, daß ſie ohne Trennung nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, oder die verkürzten ſo ſehr einander genähert, daß ohne Zerdrücken keine weitere Annäherung mehr möglich iſt; ſo erfolgt bei der geringſten Vermehrung der Kraft ein Bruch. Dieſer zeigt ſich bei verſchiedenen Körpern auf verſchiedene Weiſe. Beim Glas, bei Steinen und gegoſſenen Metallen trennen ſich alle Theile eines Querſchnittes auf einmal, bei Hölzern findet nur an der am meiſten converen oder concaven Seite eine Trennung Statt; bei geſchmiedeten Metallen hängen die Theile noch nach dem Bruche an einander und treten gleichſam in ein neues Gleichgewicht. Uebrigens richtet ſich die zum Zerbrechen nöthige Kraft nach den Dimenſionen des Körpers, ſie wächſt, wie die Breite und das Quadrat der Höhe

zunimmt und die Länge abnimmt. Hohle Körper ſind im Verhältniſſe zu ihrer Maſſe ſtärker als maſſive, daher auch hohle Halme, Stängel und Knochen bei wenig Maſſe viel aushalten, und metallene hohle Säulen eine unglaubliche Stärke haben. (Duhamel in Erſch's und Gruber's Encykl. Bd. 18. 212.)

174. Wirkt eine Kraft ſo auf einen Körper, daß ſie ihn abzudrehen ſucht, ſo werden die Theile außer dem befeſtigten Ende um einen Winkel gedreht, welcher deſto größer iſt, je mehr dieſe Theile vom feſten Ende abſtehen. Dadurch kommen jene, welche ſich in ihrer natürlichen Lage in einer geraden Linie befanden, in eine Schraubenlinie zu liegen und entfernen ſich dabei von einander. Steigt dieſe Kraft ſo weit, daß die Theile nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, ſo erfolgt bei der geringſten Steigerung derſelben ein Abdrehen.

175. Die Feſtigkeit der Körper wird auf die mannigfaltigſte Weiſe in Anſpruch genommen, und iſt für die Anwendung von der größten Wichtigkeit. So z. B. müſſen Stricke, Ketten ꝛc. dem Zerreißen, Tragſäulen, Mauern, Widerlager ꝛc. dem Zerdrücken, Querbalken, Eiſenbahnſchienen, Bänke ꝛc. dem Zerbrechen, Wellbäume, Bohrer ꝛc. dem Abdrehen Widerſtand leiſten. Man darf aber bei keiner dieſer Anwendungen die Grenze der vollkommenen Elaſticität überſchreiten, und in ſofern iſt die Elaſticitätsgröße ſogar von größerer Wichtigkeit, als die Feſtigkeit. Beide Größen wachſen auch meiſtens zugleich. So z. B. wird ein Draht, indem man ihn durch ein Zieheiſen gehen läßt, zugleich elaſtiſcher und ſtärker. Man nimmt allgemein zwiſchen der Elaſticitätsgröße und der abſoluten Feſtigkeit nachſtehender Körper folgendes Verhältniß an:

Stabeiſen	$^1/_3 — ^2/_3$
Gußeiſen	$^{10}/_{34} — ^{10}/_{27}$
Kupfer	$^1/_2$
Blei etwas über	$^1/_2$.

Siehe hierüber: Mitis in Zeitſchr. 3. 1; 4. 129. Duleau's theor. pract. Verſuche über den Widerſtand des geſchmiedeten Eiſens. Aus dem Franzöſ. Leipzig 1825. Tredgold, über die Feſtigkeit des Gußeiſens. Aus dem Engl. Leipzig 1826. Frankenheim, die Lehre von der Cohäſion ꝛc. Breslau 1835. Von den älteren Werken hierüber ſind vorzüglich zu bemerken: *Musschenbroek* introd. in cohaerent corp firm. Lugd. Bat. 1725. *G. s'Gravesande* elementa physicae. Leidae 1742 p. 367. c. s. *Navier* leçons sur l'application de la mécanique. Paris 1826.

C. Ausdehnung feſter Körper durch die Wärme.

176. Der Zuſammenhang der Theile feſter Körper wird durch das Uebergewicht der anziehenden Kraft über die abſtoßende beſtimmt und jede Aenderung in dem Verhältniſſe dieſer Kräfte modificirt auch die Entfernung der kleinſten Körpertheile von einander und die Stärke ihres Zuſammenhanges. Darum kann man auch von dieſen Modificationen auf die Geſetze der Molecularkräfte ſchließen. Die Erwärmung

eines Körpers iſt immer gleichbedeutend mit der Verſtärkung der abſtoßenden Kraft ſeiner Theile, und darum iſt die mit einer Erwärmung verbundene Volumvergrößerung wichtig für die Theorie der Molecularkräfte.

177. Verſchiedene feſte Körper dehnen ſich ſelbſt bei gleicher Erwärmung ungleich aus. Davon überzeugt man ſich, wenn man aus verſchiedenen Materien Stangen von gleicher Länge verfertigen läßt und ſie erwärmt; denn man findet ſie nach der Erwärmung ungleich lang. Viele feſte Körper dehnen ſich in der Wärme nach allen Richtungen gleich ſtark aus; denn ſie behalten ihre Form, z. B. die einer Kugel, bei jeder Temperatur bei, und nur ihre Größe erleidet eine Aenderung.

Es gibt aber auch Körper, die ſich nach verſchiedenen Richtungen ungleich ausdehnen und demnach durch eine Temperaturveränderung nicht bloß eine Aenderung der Größe erfahren, ſondern auch in ihrer Geſtalt geändert werden. Von der Art ſind namentlich alle kryſtalliſirten Körper, die nicht ins reguläre Syſtem gehören. Jene Kryſtalle, deren Geſtalt ſich von einem Rhomboeder oder einer gleichkantigen Pyramide ableiten läßt, dehnen ſich nach der Richtung der Hauptaxe ſtärker oder ſchwächer aus, als nach jener der Nebenaxen, aber nach allen Nebenaxen erfahren ſie eine gleiche Ausdehnung; ſolche Kryſtalle aber, deren Geſtalt ſich von einem Orthotyp, einem Hemiorthotyp, einem Hemianorthotyp oder einem Anorthotyp ableiten laſſen, erfahren nach jeder der drei Axen ſelbſt bei gleicher Erwärmung eine andere Ausdehnung.

178. Es iſt nicht genug zu wiſſen, daß ſich ein Körper in der Wärme mehr oder weniger ausdehnt als ein anderer, ſondern man muß die Größe dieſer Ausdehnung nummeriſch beſtimmen können. Bei Körpern, die ſich nach allen Richtungen gleich ſtark ausdehnen, braucht man nur die einer beſtimmten Temperatur entſprechende Vergrößerung nach einer Richtung durch Verſuche zu beſtimmen und kann daraus die Zunahme des Volums leicht berechnen. Man bedient ſich zu dieſer Beſtimmung eines Inſtrumentes, welches man, wiewohl unrichtig, Pyrometer nennt. Ein ſolches iſt in Fig. 41 dargeſtellt. Der zu unterſuchende Körper hat die Form einer prismatiſchen oder cylinderiſchen Stange AB und wird an einem Ende B feſt eingeſpannt, am andern A hingegen an den kürzeren Arm eines Winkelhebels abc angeſtemmt, deſſen längerer Arm bc über einer eigenen Scale ſpielt und darauf gleichſam die Verlängerung der Stange AB vergrößert darſtellt (*Smeaton* in Phil trans. 48. 598.; *Biot* in Traité de Physique. 1. 146; Nasmyth in Pogg. Ann. 9. 608). Das Dreifache der ſo gefundenen linearen Ausdehnung gibt die cubiſche Iſt nämlich die Dimenſion, um die es ſich handelt, bei der urſprünglichen Temperatur a, das Volum des betreffenden Körpers v, ſeine lineare auf jene Dimenſion bezogene Ausdehnung durch Erwärmung μa, wo μ einen echten, meiſtentheils ſehr kleinen Bruch bedeutet, die Zunahme des Volums auf das urſprüngliche Volum bezogen ρv; ſo iſt offenbar:

$$\nu : \nu + \rho\nu = a^3 : (a + \mu a)^3 = a^3 : a^3 (1 + 3\mu + 3\mu^2 + \mu^3)$$

oder weil man μ^3, μ^2 gegen μ vernachläßigen und mit ν und a^3 dividiren kann:

$$1 : 1 + \rho = 1 : 1 + 3\mu, \text{ mithin } \rho = 3\mu.$$

Körper, die ſich bei der Erwärmung nach verſchiedenen Richtungen ungleich ausdehnen, erfahren dabei eine Aenderung ihrer Geſtalt und man kann von dieſer auf das Verhältniß der Ausdehnung nach verſchiedenen Richtungen ſchließen. Dieſes iſt namentlich bei den Kryſtallen der Fall, bei denen man die Ausdehnung aus der Aenderung ihrer Flächen- und Körperwinkel berechnen kann. Die Aenderung dieſer Winkel ſelbſt erkennt man, indem man ſie mittelſt eigens dazu beſtimmter Meßwerkzeuge (Goniometer) vor und nach der Erwärmung mißt.

179. Die Ausdehnung eines feſten Körpers bei verſchiedenen Temperaturen iſt zwar nicht genau den entſprechenden Wärmegraden proportionirt, man kann aber die Abweichungen von dieſem Geſetze, da ſie nur bei höheren Temperaturen bemerklich werden, innerhalb des Fundamentalabſtandes des Thermometers vernachläßigen. Bei höheren Temperaturen wächſt die Ausdehnung meiſtens mehr, als im Verhältniſſe zur Temperatur, doch gibt es auch Fälle vom Gegentheile (Pogg. Ann. 46. 134). Folgende Tabelle gibt einige Zahlenwerthe der hier in Rede ſtehenden Ausdehnungen an:

Körper.	Verlängerung von 0 °C bis 100° C.	
Antimon	0.000984	von 1016 auf 1017
Blei	0.002848	» 351 » 352
Eiſen, geſchmiedet	0.001167	» 856 » 857
Gußeiſen	0.001110	» 901 » 902
Glas, weißes	0.000861	» 1161 » 1162
Gold	0.001552	» 645 » 646
Kupfer	0.001717	» 582 » 583
Marmor von Carrara	0.000849	» 1178 » 1179
Meſſing	0.001920	» 521 » 522
Platin	0.000856	» 1167 » 1168
Sandſtein	0.001174	» 852 » 853
Silber	0.001909	» 524 » 525
Stahl, gehärtet	0.001225	» 816 » 817
» weich	0.001079	» 926 » 927
Wismuth	0.001392	» 718 » 719
Zink, gewalzt	0.003331	» 302 » 303
» gezogen	0 002987	» 336 » 337
Zinn	0.002173	» 450 » 451
Ziegeln	0.000500	» 2000 » 2001

Nach Mitſcherlich verändern ſich die ebenen Winkel eines Kalkſpathrhomboeders bei einer Erhitzung von 100° C. um 8′ 34″ und zwar werden alle ſtumpfen Winkel kleiner, die entſprechenden ſpitzigen größer; die Veränderungen wachſen der Temperatur proportional. Die

Ausdehnung dieſes Körpers iſt daher von 0—100° C. nach der Hauptaxe um 0.00342 größer als nach der andern Axe; ſeine cubiſche Ausdehnung wurde zwiſchen 0° und 100 C. gleich 0.001961 gefunden. An dieſen Kryſtallen werden bei der Erwärmung die ſtumpfen ebenen Winkel größer, die ſpitzigen kleiner.

Die Volumvergrößerung des Glaſes als des bei Thermometer- und Barometerröhren vorkommenden Körpers beträgt im Durchſchnitte nach Dulong, Petit und Magnus für 1° C. zwiſchen 0—100° C. 0.00002579, zwiſchen 0—200° C. 0.00002913, zwiſchen 0—300 C. 0.00003145.

180. Die Verſchiedenheit der Ausdehnung feſter Körper für denſelben Temperaturunterſchied begründet die Möglichkeit, Körper ſo mit einander zu verbinden, daß ſie bei beſtimmten Temperaturänderungen beſtimmte Bewegungen annehmen oder unverändert dieſelbe Länge beibehalten; auch viele Vorſichten bei der Verbindung verſchiedener Körper mit einander werden dadurch nothwendig gemacht. Die ungemeine Kraft, mit der ſich ſolche Körper beim Erwärmen ausdehnen und ſich beim Erkalten zuſammenziehen, läßt ſich oft vortheilhaft benützen.

Auf der Verbindung zweier ſich ungleich ausdehnender Metalle beruhen Breguet's und Holmann's Metallthermometer. Breguet's Thermometer (Fig. 42) beſteht aus drei zuſammengeſchraubten, ſchraubenförmig gewundenen Plättchen von Silber, Gold und Platin, die am oberen Ende A befeſtiget, und am unteren B mit einem Zeiger verſehen ſind, der über einer kreisrunden Scale mit der gewöhnlichen Thermometertheilung ſpielt. Holzmann's Thermometer (Fig. 43) hat die Form einer Taſchenuhr. Der eigentliche thermometriſche Theil desſelben iſt ein bogenförmiges Doppelplättchen A aus Eiſen und Meſſing, oder aus Platin und Meſſing, an welchem letzteres Metall den inneren Theil abgibt. Dieſes iſt an einem Ende am Gehäuſe befeſtiget, am andern aber mit einem Rechen a in Verbindung, der mit ſeinen Zähnen in ein Getriebe eingreift, welches an der Axe eines Zeigers b angebracht iſt. Der Zeiger ſpielt auf einer mit der Thermometerſcale verſehenen Platte. Auf der Ungleichheit der Ausdehnung verſchiedener mit einander verbundener oder verſchieden erwärmter Körper beruht das Krachen eiſerner geheizter Oefen, metallener Dächer oder des Eiſes an ſtrengen Wintertagen; das Zerreißen eiſerner Klammern in Gebäuden, die man bei großer Kälte angebracht hat, ohne ihnen einen Spielraum zu geſtatten; die Nothwendigkeit bei metallenen Waſſer- oder Dampfleitungsröhren die ſogenannten Ausgleichungsröhren anzubringen, an metallenen Keſſeln und großen Pfannen ringsum einen Zwiſchenraum zu laſſen; das Zerſpringen gläſerner Gefäße bei ſchneller Erhitzung oder Erkältung; das Abſchälen oder Zerſpringen der Glaſur an Gefäßen bei ſchnellen Temperaturänderungen. Die Kraft, mit welcher ſich erwärmte Körper ausdehnen, iſt im Stande, ungeheure Hinderniſſe zu überwinden. Man kann durch ſie die Kraft ſtarker Preſſen erſetzen. Eben ſo verhält es ſich mit der Energie, womit ſie ſich beim Erkalten zuſammenziehen. Molard hat dadurch ſtark gewichene Mauern in ihre normale Lage zurückgeführt. — Nimmt man den Ausdehnungscoefficienten für 1° C. von 0° angefangen α, ſo hat ein Stab, der bei 0° die Länge l mißt, bei τ° die Länge $(1 + \alpha\tau)$ l. Ein Maßſtab kann immer nur für eine beſtimmte Temperatur richtig ſeyn, jedes bei einer andern Temperatur gefundenes Maß muß demnach immer auf

jenes zurückgeführt werden, welches der Normaltemperatur entſpricht. Dieſe Reduction ergibt ſich aus folgender Betrachtung: Iſt τ die Temperatur, für welche der Maßſtab urſprünglich adjuſtirt worden, und ſeine Länge bei der Temperatur t° C. gleich l gefunden, ſo wird ſeine wahre auf τ reducirte Länge x durch die Proportion $1 + \alpha t : 1 + \alpha \tau = l : x$ gefunden, mithin iſt $x = \frac{1 + \alpha \tau}{1 + \alpha t} l$. Auch Hohlmaße fordern für einen von ihrer Normaltemperatur verſchiedenen Wärmegrad eine Berichtigung. Man findet ihren wahren Inhalt mittelſt derſelben Formel, wenn für α der dreifache lineare Ausdehnungscoefficient geſetzt wird.

D. Conſtitution feſter Körper.

181. Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß wir uns einen feſten Körper als Aggregat von Atomen vorſtellen müſſen, die durch eine der Materie eigene Anziehungskraft zur gegenſeitigen Annäherung, durch eine ſie umgebende Wärmeatmoſphäre zur gegenſeitigen Entfernung beſtimmt, durch beide aber ſo mit einander verbunden werden, daß ſie einer Kraft, welche eine Aenderung ihrer relativen Stellung hervorzubringen ſucht, zu widerſtehen ſtreben. Der Mangel an abſolut leichter Verſchiebbarkeit, der den eigentlichen Charakter der feſten Körper ausmacht, deutet darauf hin, daß ſich ihre kleinſten Theile nicht nach allen Richtungen gleich ſtark anziehen; denn eine Gleichheit der Anziehung nach allen Richtungen würde abſolut leichte Verſchiebbarkeit zur nothwendigen Folge haben. Um ſich dieſe Ungleichheit der Anziehung nach verſchiedenen Richtungen begreiflich zu machen, nimmt man die Atome für polyedriſch geformt an. Näheres kann man über dieſe Geſtalten nicht beſtimmen, nur ſcheint es naturgemäß zu ſeyn, daß den Atomen iſomorpher Stoffe auch gleiche Geſtalten zugeſchrieben werden, denn dahin führt theils die Iſomorphie ſelbſt, theils der Umſtand, daß die Aequivalentenvolume vollkommen iſomorpher Stoffe auch einander völlig gleich ſeyn, die der annähernd iſomorphen hingegen auch nur wenig von einander abweichende Aequivalentenvolume haben. (Link in Gilb. Ann. 25. 133; 47. 1.)

182. Geſtalt und Größe der Atome müſſen als etwas Unveränderliches gedacht werden und eine Erwärmung kann das Volum eines Körpers nur dadurch vergrößern, daß ſie die Wärmeatmoſphäre der Atome vergrößert und ſie aus einander treibt. Aehnliches muß auch vor ſich gehen, wenn ein feſter Körper durch Erwärmung geſchmolzen wird. Daraus folgt aber noch nicht, daß er dadurch immer eine geringere Dichte erhalten müſſe, denn es iſt recht wohl denkbar, daß ſich in einer flüſſigen Maſſe die Atome durchſchnittlich näher ſtehen als in derſelben, wenn ſie feſt geworden, während in letzterer die Atome an einigen Stellen näher ſeyn können, als durchſchnittlich in erſterer, ſo wie z. B. in einem Aggregate von Dreiecken, deren Spitzen ſich faſt berühren, die Zwiſchenräume im Allgemeinen größer ſeyn können, als in einem ſolchen, wo die Seiten der Dreiecke in parallelen Lagen eben ſo weit von einander entfernt ſind, wie ihre Spitzen. Die dem feſten Zuſtande entſprechende Stellung der Atome muß eine eigenthümliche

Gruppirung der Molekel zur Folge haben und ſomit beginnt der feſte Zuſtand eines Körpers mit der Anordnung ſeiner Atome zu Molekeln und dieſe bedingt die weiters ſich ergebende Form des Ganzen. Ein gewiſſer kryſtalliniſcher Zuſtand ſcheint daher zum Weſen der feſten Aggregationsform zu gehören.

183. Die gleichartigen Atome eines feſten Körpers können ſich nicht berühren, denn ſonſt könnten ſie ja einander nicht mehr näher gebracht werden und eine Zuſammendrückung durch äußere Gewalt, ſo wie ein Zuſammenziehen durch Abnahme der Temperatur wäre unmöglich. Die Abſtände der Atome von einander müſſen um vieles größer ſeyn, als die Atome ſelbſt, denn während wir die Zu- und Abnahme dieſer Abſtände, die doch nur kleine Theile der abſoluten Entfernungen der Atome von einander ſeyn können, aus den bei dem Wärmewechſel beobachteten Aenderungen der Abmeſſungen der Körper nicht bloß deutlich wahrnehmen, ſondern ſogar meſſen können, fällt die Größe der Atome ſelbſt ganz außer den Bereich aller ſinnlichen Wahrnehmung und man kann nur in einzelnen Fällen die Grenzen angeben, außerhalb denen die Größen nothwendig liegen müſſen. An einem feſten Körper iſt demnach immer ohne Vergleich mehr Zwiſchenraum als Materie. Es iſt klar, daß dieſes um ſo mehr bei einer flüſſigen der Fall ſeyn müſſe.

184. Das Gleichgewicht, in welchem ſich die kleinſten Theile eines feſten Korpers befinden, hat alle Eigenſchaften eines ſtabilen. Es können äußere Kräfte wohl eine Aenderung in der Lage der Theile bewirken, dieſe iſt innerhalb einer gewiſſen Grenze der Größe der einwirkenden Kraft proportional und verſchwindet wieder, wenn die Kraft zu wirken aufhört; nur wenn iene Grenze überſchritten wird, tritt ein neuer, bleibender Gleichgewichtszuſtand ein, lauter Eigenſchaften, wie ſie auch einem ſchweren Körper zukommen, der auf einer Unterlage mit Stabilität ruht. Es gibt in jedem feſten Körper mehrere ſtabile Lagen der Atome. Dieſes beweiſet die Dehnbarkeit, Polymorphie und Allotropie feſter Stoffe. In der Regel haben nicht alle ſtabilen Lagen eine gleiche Stabilität; denn ein Körper hat in jeder dieſer Lagen eine andere Elaſticitäts-Größe und Grenze. Daraus folgt, daß die Atome nicht regelmäßige Polyeder ſeyen und es muß für ſie mehrere Ordnungen von Stellen der größten Anziehung geben. Einige Lagen des Gleichgewichts haben ſo wenig Stabilität, daß ſie durch bloße Temperaturänderungen in andere mehr ſtabile übergehen, ja manchmal reicht ſchon eine Erſchütterung hin, eine ſolche Aenderung hervorzubringen. (163 u. 164.)

Sechstes Kapitel.

Gleichgewicht der tropfbar flüſſigen Körper.

A. Verwandlung feſter Körper in tropfbare.

185. Man mag einen feſten Körper wie immer fein zertheilen durch mechaniſche Mittel, es entſteht doch keine flüſſige Maſſe daraus. Zur Erzeugung des Zuſtandes der Flüſſigkeit iſt unerläßlich, daß die betreffenden Molekel entweder durch die überwiegende Adhäſion an einen ſchon flüſſigen Körper (Auflöſung) oder durch Erwärmung eine ſelbſt den kleinſten Kräften gehorchende Verſchiebbarkeit erlangen. In dieſer abſolut leichten Verſchiebbarkeit beſteht eigentlich das Weſen des flüſſigen Zuſtandes; ſie deutet darauf hin, daß ſich die Theile nach allen Richtungen gleich ſtark anziehen, eine Anziehung, welche ſelbſt wieder begreiflich wird, wenn die kleinſten Körpertheile weit genug von einander abſtehen, um ungeachtet ihrer von der Kugelgeſtalt abweichenden Form doch ſo auf einander zu wirkeu, als beſäßen ſie Kugelform. Dieſes iſt eine Wirkungsweiſe, von welcher uns die Aſtronomie mehrere Beiſpiele aufzählt.

186. Es mag nun der tropfbare Zuſtand durch ein Auflöſungsmittel oder durch Erwärmung herbeigeführt werden, ſo wird er doch immer auf Koſten jener Wärme hergeſtellt, die der feſte Körper beim Uebergang in den flüſſigen Zuſtand bindet. Bei jeder Löſung bemerkt man ein Sinken der Temperatur der betreffenden Maſſe, zum Beweiſe, daß ein Theil der Wärme, der früher auf das Gefühl und das Thermometer gewirkt hat, nun dieſer Fähigkeit beraubt, alſo gebunden werde. Beim eigentlichen Schmelzen eines feſten Körpers durch Wärme wird bekanntlich (S. 32) immer Wärme gebunden und gerade dieſe iſt es, die den flüſſigen Zuſtand erzeugt und darum auch Flüſſigkeitswärme genannt wird. Auf ein ſolches Gebundenwerden der Wärme beim Schmelzen deuten hin: Die conſtante Temperatur des ſchmelzenden Eiſes ſelbſt in ſehr warmer Umgebung; die Möglichkeit, eine Bleikugel in einer papiernen Umhüllung über einer Kerzenflamme zu ſchmelzen, ohne das Papier zu verbrennen ꝛc. ꝛc. Auch die ſogenannten Kältemiſchungen, durch welche man künſtliche Kälte zu erzeugen im Stande iſt, beruhen darauf, daß bei denſelben ein raſches Schmelzen feſter Körper bewirkt und dadurch plötzlich viel Wärme gebunden wird. Hier folgen einige dieſer Miſchungen mit Angabe der künſtlichen Kälte, die ſie erzeugen können.

Bei einer Miſchung von		fällt die Temperatur			
3 Th.	Salmiak, 5 Salpeter, 16 Waſſer	von	+ 10°	bis	— 10° R.
3 »	Glauberſalz, 2 Salpeterſäure	»	10	»	— 12
8 »	» 5 Salzſäure	»	10	»	— 14
1 »	Schnee, 1 Kochſalz	»	0	»	— 14
3 »	ſalzſaurem Kalk, 2 Schnee	»	0	»	— 36
1 »	Schnee, 1 Schwefelſäure	»	— 5	»	— 41
1 »	» 1 Salpeterſäure	»	— 14	»	— 35
2 »	ſalzſaurem Kalk, 1 Schnee	»	— 14	»	— 44.

187. Die Flüſſigkeitswärme iſt für verſchiedene Körper verſchieden, ſoll aber nach Desprez nahe im verkehrten Verhältniſſe der Atomgewichte ſtehen. Man findet ſie, indem man den an der Schmelzhitze befindlichen feſten Körper mit einer wärmeren Flüſſigkeit vermiſcht, erſteren darin ſchmelzen läßt, und nachdem dieſes geſchehen iſt, die Temperatur der Miſchung beobachtet. Als Beiſpiel mag die Beſtimmung der Flüſſigkeitswärme des Waſſers dienen. Wird die Eismaſſe m, welche eben die Temperatur 0° C. hat, bei der ſie zu ſchmelzen anfängt, in eine Waſſermaſſe M von der Temperatur t getaucht, und nach dem Schmelzen die gemeinſchaftliche Temperatur τ beobachtet; ſo bezeichnet $m\tau$ die Wärmemenge, welche dem aus Eis entſtandenen Waſſer zugewachſen iſt, und $M(t - \tau)$ diejenige, welche das Waſſer M zum Behufe der Eisſchmelzung und der Temperaturerhöhung des aus Eis entſtandenen Waſſers abgegeben hat. Iſt ferner x die Wärmemenge, welche eine Maſſeneinheit Eis zum Schmelzen braucht; ſo iſt mx die zum Schmelzen der Eismaſſe m benöthigte Wärme und man hat $m\tau + mx = M(t - \tau)$ oder

$$x = \frac{M(t - \tau) - m\tau}{m}.$$

Bei einem wirklich angeſtellten Verſuche fand man $x = 75°$, d. h. 1 Pfd. Eis von 0° C. braucht zum Schmelzen ſo viel Wärme, als nöthig iſt, um 1 Pfd. Waſſer von 0° auf 75° zu erwärmen. Auf ähnliche Weiſe hat man die Flüſſigkeitswärme des Zinns = 13°.31, des Bleies 5°.86, des Wachſes 97°.5 gefunden. Prevoſtaye will durch Verſuche die Flüſſigkeitswärme des Waſſers viel größer, nämlich gleich 79°.1 gefunden haben.

188. Es iſt ſchon S. 32 geſagt worden, daß beim Erſtarren eines tropfbaren Körpers Wärme frei werde. Durch ein dem oben dargeſtellten ähnliches Verfahren überzeugt man ſich, daß die ſo frei gewordene Wärme der beim Schmelzen derſelben Maſſe gebundenen vollkommen gleich ſey, daß demnach gerade dieſe es iſt, welche den flüſſigen Zuſtand bedingt. Auch die Temperatur, bei welcher ein Körper erſtarrt (gefriert), iſt jener gleich, bei welcher derſelbe aus dem feſten Zuſtande in den tropfbaren übergeht; doch bedarf es oft einer kleinen Erſchütterung der flüſſigen, auf den Punct des Erſtarrens gebrachten Maſſe, um die kleinſten Theile in Bewegung zu ſetzen und ſie zu beſtimmen, jene Gruppirung anzunehmen, die zum feſten Zuſtande gehört. Eine in Ruhe befindliche Flüſſigkeit kann oft mehrere Grade unter dem Erſtarrungspunct erhalten werden; ſobald man ſie aber erſchüttert, erſtarrt ſie augenblicklich, und ihre Temperatur ſteigt bis zu dem normalen Grade. Dieſes gilt namentlich vom Waſſer, das man in enghalſigen Gefäßen noch bei — 10° C. im flüſſigen Zuſtande geſehen hat. Folgende Tabelle gibt die Schmelzpuncte mehrerer Körper an:

Strengflüſſiger Stahl .	1400°	Weißes Gußeiſen . . .	1050°
Leichtflüſſiger » . .	1300	Gold	1250
Graues Gußeiſen . . .	1200	Silber	1000

Antimon	513°	Phosphor	43°
Zink	360	Stearinſäure	70
Blei	334	Weißes Wachs	68
Wismuth	256	Gelbes »	61
Zinn	230	Butter	32
Jod	107	Milch	—1
Selen	102	Terpentinöhl	—10
Schwefel	111	Queckſilber	—40.5
Natrium	90	Schwefeläther	—44.
Kalium	58		

In den Angaben der Schmelzpuncte der ſtrengflüſſigeren Metalle weichen die Angaben der Phyſiker ſehr ſtark von einander ab. Hier ſind die niederſten Temperaturen als die wahrſcheinlicheren beibehalten worden. Ueber den Schmelzpunct bei Miſchungen ſiehe Kopp über die Modification der mittleren Eigenſchaft ꝛc. Frankfurt a. M. 1841, S. 34.

B. Ausdehnung tropfbarer Körper durch die Wärme.

189. Daß ſich tropfbare Flüſſigkeiten bei der Erwärmung ausdehnen, iſt ſchon S. 18 geſagt worden; hier handelt es ſich aber um die Mittel, dieſe Ausdehnung zu meſſen und ihre Größe anzugeben. Solche Mittel ſind entweder mittelbare oder unmittelbare. Erſtere beſtehen darin, daß man bei verſchiedenen Temperaturen das ſpezifiſche Gewicht der betreffenden Flüſſigkeit ſucht und daraus auf ihre Ausdehnung einen Schluß macht; letztere gehen darauf aus, die Volume einer Flüſſigkeit bei verſchiedenen Wärmegraden zu finden und ſie mit einander zu vergleichen. Am einfachſten kommt man zum Ziele, wenn man eine Glasröhre von nicht zu geringem Caliber mit einem verhältnißmäßig weiten Gefäße verſieht, als wollte man es zur Anfertigung eines empfindlichen Thermometers verwenden, und das Verhältniß des Kugelinhalts zu jenem der Röhre genau beſtimmt. Füllt man die zu unterſuchende Flüſſigkeit in die Kugel ein und läßt ſie bis in die Röhre reichen, erwärmt ſie dann und beobachtet den verſchiedenen Temperaturen entſprechenden Stand der flüſſigen Säule in der Röhre; ſo kann man daraus das Verhältniß der Rauminhalte abnehmen. Hierbei darf man aber nicht vergeſſen, daß man unmittelbar nur die ſcheinbare Ausdehnung der Flüſſigkeit erfährt, die wegen der zugleich erfolgenden Ausdehnung des Gefäßes kleiner iſt als die wirkliche. Iſt α die ſcheinbare Ausdehnung einer Volumeneinheit der Flüſſigkeit, β jene des Gefäßes für dieſelbe Temperatur; ſo iſt $\beta(1+\alpha)$ die Größe, um welche die Volumeneinheit der Flüſſigkeit zu klein erſcheint und $\alpha+\beta(1+\alpha)$ die wahre Ausdehnung derſelben.

Um das zu den vorerwähnten Verſuchen nöthige Verhältniß zwiſchen dem Volum der Glaskugel und jenem der daran befindlichen Röhre zu erfahren, wiegt man die leere Röhre ab, füllt ſie mit Queckſilber von bekanntem ſpezifiſchen Gewichte, bis dasſelbe die Kugel ganz ausfüllt, und beſtimmt das Gewicht derſelben abermals, füllt endlich auch

einen Theil der Röhre an und beſtimmt das Gewicht der ganzen Maſſe von Neuem. Iſt p das Gewicht des leeren Apparats, P deſſelben mit voller Kugel, ſo iſt P — p das Gewicht des Queckſilbers, welches die Kugel faßt. Hat ein Kubikzoll Queckſilber bei der herrſchenden Temperatur das Gewicht π, ſo iſt $\frac{P-p}{\pi}$ die Anzahl der Kubikzolle der Kugel; bezeichnet ferner P′ das Gewicht des Apparates, wenn die Kugel und ein Stück der Röhre von der Länge a Queckſilber enthalten, ſo iſt $\frac{P'-p}{\pi}$ der Kubikinhalt der Kugel und jenes Röhrenſtückes und $\frac{P'-P}{\pi}$ der Kubikinhalt des Röhrenſtückes a; mithin iſt der Rauminhalt eines Stückes von der Länge 1 gleich $\frac{P'-P}{a\pi}$ und $P-p:\frac{P'-P}{a}$ das Verhältniß des Volums der Kugel zu dem eines Stückes dieſer Röhre von der Länge = 1.

190. Genaue Verſuche über die Ausdehnung der verſchiedenen Flüſſigkeiten durch die Wärme haben Folgendes gelehrt: 1) Jede tropfbare Flüſſigkeit dehnt ſich nach allen Richtungen gleich ſtark aus, und jeder kommt ſelbſt für dieſelbe Temperaturänderung eine beſondere Ausdehnung zu, die man nicht aus irgend einer anderen Eigenſchaft ableiten kann, ſondern durch Verſuche beſtimmen muß. 2) Dieſe Ausdehnung iſt nicht genau den durch ein Queckſilberthermometer beſtimmten Temperaturen proportional, doch kann man in der Regel für Temperaturen, die weit vom Schmelz- und Siedpuncte der betreffenden Maſſe entfernt ſind, annehmen, daß jene Proportionalität Statt finde. In der Nähe des Siedpunctes dehnt ſich eine Flüſſigkeit in der Regel mehr aus, als dieſem Verhältniſſe entſpricht, in der Nähe des Schmelzpunctes finden aber oft beſondere Abweichungen Statt. Einige Flüſſigkeiten, wie z. B. Queckſilber, ziehen ſich beim Erkalten beſonders ſtark zuſammen und dehnen ſich demnach beim Erwärmen ſehr ſtark aus, während andere, wie z. B. Schwefel, ſich gerade gegentheilig verhalten; ja einige haben ſogar über dem Schmelzpuncte oder in deſſen Nähe ihr kleinſtes Volum und dehnen ſich daher beim Erkalten unter dieſe Grenze aus, ſtatt ſich zuſammenzuziehen. Dieſe merkwürdige Eigenſchaft kommt vorzüglich dem Waſſer zu. Dieſes hat nach Stampfer das kleinſte Volum oder die größte Dichte bei 3° R. = 3°.75 C., nach Hallſtröm bei 3°.9 C. mit einem wahrſcheinlichen Fehler von 0°.04 (Jahrb. des polytech. Inſt. in Wien, B. 16. Hallſtröm in Pogg. Ann. 1. 129 und 34. 120). Die Ausdehnung des Waſſers von Grad zu Grad läßt ſich aus einer ſpäter (S. 155) folgenden Tabelle entnehmen.

Folgendes ſind die Reſultate der beſten Verſuche über die ſcheinbare Ausdehnung verſchiedener Flüſſigkeiten bei der Erwärmung von 0° bis 100° C.: Waſſer um $^1/_{22}$, Salzſäure um $^1/_{27}$, Salpeterſäure um $^1/_9$, Schwefelſäure um $^1/_{17}$, Alkohol um $^1/_9$, Schwefeläther um $^1/_{14}$, Leinöhl um $^1/_{12}$, Terpentinöhl um $^1/_{14}$, Queckſilber um $^1/_{64}$ des Volums bei 0° C.

Nachſtehende Tabelle enthält das Volum verſchiedener Flüſſigkeiten bei den nebenſtehenden Temperaturen nach Munke's Verſuchen. Sie verſinnlichet den Gang der Ausdehnung derſelben.

Temp. C.	Alkohol.	Schwefeläther.	Ammoniak.	Salzſäure.	Salpeterſäure.	Schwefelſäure.
— 20	0.981	—	—	0.988	0.978	0.991
— 10	1.990	0.985	0.997	0.994	0.990	0.995
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
+ 10	1.010	1.015	1.003	1.006	1.010	1.006
20	1.021	0.030	1.007	1.011	1.021	1.011
30	1.033	0.046	1.012	1.017	1.032	1.017
40	1.044	1.064	1.017	1.022	1.042	1.033
50	1.056	—	—	—	1.054	1.029
60	1.068	—	—	—	1.065	1.035

Eine wäſſerige Löſung von ſalzſaurem Natrum mit dem ſpezifiſchen Gewichte 1.010 hat das Maximum der Dichte bei 1°.5 R. Salzwaſſer von 1.027 ſpezifiſchem Gewichte hat nach Erman (Pogg. Ann. 12. 463) kein ſolches Maximum; nach Despretz haben aber alle weingeiſtigen, ſalzigen, ſauren und alkaliſchen Löſungen im Waſſer ein ſolches. Meerwaſſer von 1-0275 ſpez. Gewichte fand er bei —3°.67 C. am dichteſten; Kochſalzſole von 0.000123 Dichte bei 1°.19 C., von 0.0246 Dichte bei —1°.69, von 0.037 Dichte bei —4°.75 und von 0.0741 Dichte bei —16° C. Chlorkalcium von 0.0375 Dichte zeigt ſich bei —2°.43, ſolches von 0.0741 Dichte bei —10°.4 C. am dichteſten. Uebrigens ſinkt die Temperatur des Maximums der Dichte mit zunehmender Concentration der Löſung ſchneller als der Frierpunct derſelben. Aus dieſem Verhalten des Waſſers erklärt es ſich, warum tiefe Wäſſer ſo ſelten gefrieren, warum das Gefrieren erſt eintritt, wenn die Temperatur der Luft ſchon längere Zeit hindurch unter 0° C. ſtand. — Vergleicht man die Ausdehnung eines Körpers in ſeinem feſten Zuſtande mit der in ſeinem tropfbaren, ſo wie es Erman für mehrere Körper gethan hat; ſo findet man, daß ſie für dieſelbe Temperaturänderung im flüſſigen Zuſtande größer iſt, als im feſten; doch ſcheint es zwiſchen den Ausdehnungen in beiden Zuſtänden einen Zuſammenhang zu geben. So z. B. dehnt ſich das Roſſe'ſche Metallgemiſche nach Erman von 0° — 30° R., wo es feſt iſt, und von 80° an, wo es flüſſig iſt, nach demſelben Geſetze aus. Auch der Phosphor befolgt bei ſeiner Ausdehnung im feſten und flüſſigen Zuſtande dasſelbe Geſetz, und nur während des Schmelzens erleidet er eine plötzliche Ausdehnung (Pogg. Ann. 9. 557; 41. 58).

C. Eigenſchaften tropfbarer Flüſſigkeiten und deren Molecularkräfte.

191. Es liegt in der Natur der Sache, daß jene Gleichheit des Zugs und Gegenzuges, wie ſie zur Erzeugung einer abſolut leichten Verſchiebbarkeit der Theile nothwendig iſt, nur im Inneren einer Maſſe Statt finden könne, an der Oberfläche derſelben aber nicht möglich ſey. Darum ſind auch tropfbare Flüſſigkeiten nur im In-

nern ſo leicht verſchiebbar, an der Oberfläche aber gleichſam mit einem feſten Häutchen überzogen, wie ſich dieſes ſchon daraus erſehen läßt, daß ein Körper auf einer Flüſſigkeit ſchwimmen kann und ſie wie ein leicht geſpanntes Häutchen eindrückt, ſo lange er nicht übernetzt iſt, während er raſch zu Boden fällt, wenn er naß geworden und ſomit nur die feſte Haut durchbrochen hat. Ebendaher rührt es auch, daß ſich kleine flüſſige Maſſen in die Länge ziehen, bevor ſie ſich von einander trennen, als beſäßen ſie eine ſonſt nur feſten Körpern eigene Cohärenz der Theile. In dieſem Verhalten liegt auch der Grund der Tropfenbildung.

192. Die Theile tropfbarer Körper können durch eine äußere Kraft einander näher gebracht werden, d. h. dieſe Körper ſind zuſammendrückbar; ſo wie aber die Kraft zu wirken aufhört, nehmen ſie auch ihr voriges Volum wieder vollkommen ein und ſind demnach gegen dieſelbe vollkommen elaſtiſch. Innerhalb einer gewiſſen Grenze ſind auch die Zuſammendrückungen den drückenden Kräften, mithin auch dem Widerſtande der Theile vollkommen proportional. Indeß bedürfen ſolche Körper ſtarker Kräfte, um eine nur einigermaßen bemerkbare Compreſſion zu erleiden, haben alſo eine bedeutende Elaſticitätsgröße.

Die Zuſammendrückbarkeit und Elaſticität der tropfbaren Flüſſigkeiten hat zuerſt Herbert (Prof. an der Univerſität zu Wien) bewieſen, und Pfaff, Perkins, Oerſted, Colladon und Sturm haben es beſtätiget. Herbert bediente ſich des Apparates Fig. 44; wo A eine hohle, an eine enge Röhre a angeblaſene Glaskugel von bekannter Capacität, B eine erweiterte aber unter einem rechten Winkel gebogene Fortſetzung der Röhre a iſt. Die Kugel A befindet ſich in einem waſſerdichten Gefäße C, an deſſen oberer Wand ſich ein Rohr d, von gleichem Durchmeſſer mit a, erhebt. Wird die Kugel A ſammt einem Stück der engen Röhre bis a, ſo wie das die Kugel umgebende Gefäß C bis d mit Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit gefüllt, und hierauf durch das Rohr B Queckſilber nachgegoſſen, um jene Flüſſigkeit zuſammenzudrücken; ſo braucht man nur den Weg a b, um welchen die Flüſſigkeit in der Röhre zurückgewichen, und den Weg d e, um welchen ſie im Gefäße C geſtiegen iſt, zu meſſen und den Unterſchied der Volume a b—d e mit dem Volum der Flüſſigkeit vor dem Verſuche zu vergleichen. Da nämlich das Zurückweichen der Flüſſigkeit von a nach b von der Compreſſion derſelben und von der Ausdehnung der Kugel A, das Steigen d e aber bloß von letzterer Urſache herrührt; ſo iſt a b — d e offenbar die Größe der Compreſſion, welche die Flüſſigkeit erlitten hat. Theilt man das dieſer Größe entſprechende Volum durch das urſprüngliche der Flüſſigkeit, ſo erhält man die Größe der Compreſſion. Nach dem Vorgange oben genannter neueren Phyſiker bringt man die zu comprimirende Flüſſigkeit in einen Behälter von Glas, welcher einem Thermometergefäße ähnlich, in eine Röhre ausläuft, die mit einer Volumſcale verſehen iſt. Dieſen Behälter ſtellt man in ein größeres, mit derſelben Flüſſigkeit gefülltes cylindriſches, ſehr ſtarkes Glasgefäß, das an einem Ende geſchloſſen, am andern Ende aber mit einer Druckpumpe verſehen iſt, um damit ein neues Flüſſigkeitsquantum hinein zu treiben, und hiedurch auf die in beiden Gefäßen enthaltene Flüſſigkeit einen Druck auszuüben. Die Flüſſigkeit im inneren Gefäße reicht bis in die enge Röhre hinein, und

iſt von der äußeren Flüſſigkeit durch Queckſilber abgeſperrt. Hiedurch kann das Volum, welches die Flüſſigkeit im inneren Gefäße bei verſchiedenen Graden der Compreſſion einnimmt, leicht beſtimmt werden, und dieſes Volum wäre, wenn das Glas als ein unzuſammendrückbarer Stoff betrachtet werden dürfte, reines Ergebniß des Druckes, da dann das Gefäß ſelbſt, welches von außen und innen denſelben Druck erfährt, keine Volumsänderung erleiden würde. Da aber dieſe Annahme nicht zuläßig iſt, ſo muß man die Compreſſion des Glaſes, wodurch die Reſultate vergrößert werden, in Rechnung bringen. Um die Größe des Druckes in jedem Augenblicke angeben zu können, wird in das äußere Gefäß ein mit Luft gefülltes und durch Queckſilber geſperrtes Rohr geſetzt und aus der, durch die Volumſcale, womit es verſehen iſt, angezeigten Compreſſion der Luft, auf die Größe des Druckes geſchloſſen, unter dem dieſe Luft, mithin auch die Flüſſigkeit in dem eben bemerkten Gefäße ſteht. (Mitſcherlich's Lehrbuch der Chemie, zweite Auflage, S. 280). Neueſtens hat Aimé Compreſſionsverſuche mit flüſſigen Körpern bei viel ſtärkeren Preſſungen vorgenommen, als man vor ihm gethan hatte. Er hat ſich dabei des Druckes bedient, den das Meerwaſſer auf einen tief darein getauchten Körper ausübt. Folgende Tabelle gibt die Reſultate ſolcher Verſuche für den Druck von einer Atmoſphäre (ungefähr 12½ Pfd. für 1 Q. Zoll Fläche) nach Colladon und Sturm (C. St) und Aimé (A.) an.

Queckſilber bei 0° C.		0.0000050	C. et St.
» » » »		0.0000033	» »
» »	12°.6	0.000040	A.
Waſſer, luftleer bei 0°		0.0000513	C. et St.
» lufthaltend bei 0°		0.0000495	» »
» » »		0.0000488	A.
» » »	10°	0.0000447	C. et St.
» » »	12°.60	0.0000502	A.
» » »	16°	0.0000427	C. et St.
» » »	3°.75	0.0000461	» »
Meerwaſſer . . »	12°6	0.0000413	A.
Alkohol von 32° B. »	12°.6	0.0000682	»
» » 40° »	»	0.0000996	»
» » 32° »	0°	0.0000944	»
Oxalſäurelöſung geſättiget	12°.6	0.0000479	»
Eſſigſäure von 9°.6 B.	12°.6	0.0000512	»
» » »	0°	0.0000422	C. et St.
Schwefelſäure conc.	0°	0.0000320	» »
» »	»	0.0000302	A.
» »	12°.6	0.0000332	»
Salzſäure conc.	0°	0.0000432	»
Glauberſalzlöſung 13°.8 B.	12°.6	0.0000444	»
Ammoniak	0°	0.0000363	»
»	12°6	0.0000376	»
Naphta	12.6	0.0000756	»
Aether	0°	0.0000133 0.0000122	C. et St.
»	11°	0.0000150 0.0000141	» »
Salzäther	12°1	0.0000859	» »
Salpeteräther	0°	0.0000715	» »
Eſſigäther	12°	0.0000975	» »
Terpentinöhl	0°	0.000073	» »

Alkohol, Schwefeläther, Eſſigäther und Salzäther werden nicht für gleiche Zunahmen der comprimirenden Kräfte um gleich viel zuſammengedrückt, ſondern ihre Compreſſibilität nimmt ab, wenn die Flüſſigkeit ſchon ſtark comprimirt iſt (Zeitſch. 5. 236. Colladon und Sturm in Pogg. Ann. 12. 39. Oerſted ebend. 9. 603; 12. 158 und 513; 31. 361. Aimé in Ann. de Chim. et de Phys. 1843. 8. 257.)

193. Das Verhältniß der Molecular-Anziehung und Abſtoßung iſt bei tropfbaren Flüſſigkeiten von der Art, daß meiſtens an der Oberfläche die abſtoßende Kraft das Uebergewicht hat. Dieſes geht daraus hervor, daß eine tropfbare Maſſe oft an der Oberfläche ſchnell in ausdehnſamen Zuſtand übergeht, wenn ſich nicht ein Widerſtand dieſem Beſtreben entgegenſetzt. Im Innern der Maſſe ſteht der Druck der oberen Theile dieſem Beſtreben entgegen, auch wirken die Theilchen nicht auf die ganze Umgebung abſtoßend, ſondern nur auf die zunächſt gelegenen; auf die fernern äußern ſie anziehende Wirkung. Dieſes deutet darauf hin, daß die zwei Kräfte, die anziehende und abſtoßende, nach verſchiedenen Geſetzen in die Entfernung wirken, und daß die Abſtoßung raſcher abnimmt als die Anziehung.

194. Es iſt nöthig, ſich vom Spiele der Kräfte in einem tropfbaren Körper eine klare Vorſtellung zu machen. Zu dieſem Zwecke ſey A (Fig. 45) ein Theilchen, auf welches alle anderen wirken, die innerhalb des um dasſelbe als Centrum beſchriebenen Kreiſes liegen, ſo daß der Halbmeſſer dieſes Kreiſes zugleich jener der Wirkungsſphäre der anziehenden oder abſtoßenden Kräfte der Theilchen iſt, die auf A wirken können. Man denke ſich nun vorerſt die Kräfte bloß als anziehend. So lange ſich innerhalb der ganzen Sphäre Theilchen von einerlei Natur und Dichte befinden, wird A nach allen Richtungen gleich ſtark angezogen und die Wirkungen aller Theile auf dieſes Theilchen heben ſich gegenſeitig auf. Iſt aber A der Oberfläche MN näher als der Halbmeſſer der Wirkungsſphäre beträgt, ſo ziehe man von der Umgrenzung der Ebene, in welcher jene Sphäre von MN geſchnitten wird, gerade Linien BA, CA nach dem Mittelpuncte A und verlängere ſie bis zur entgegengeſetzten Grenze der Sphäre, nämlich bis D und E. Da iſt es nun klar, daß die Wirkungen aller innerhalb BAC gelegenen Theile auf A durch jene, welche ſich innerhalb DAE befinden, aufgehoben werden, die außerhalb DE, im Abſchnitte DFE gelegenen Theile aber üben eine Wirkung aus, welche durch die über BC im Abſchnitte BGC befindlichen nicht mehr aufgehoben werden kann, da ſich über BC entweder ein leerer Raum oder doch ein Körper von anderer Natur befindet. Wird leerer Raum angenommen, welches die einfachſte Vorausſetzung iſt, ſo erfährt das Theilchen A eine Anziehung von den innerhalb DFE gelegenen Theilchen, und die Wirkung dieſer iſt zugleich die reſultirende Wirkung aller Theile innerhalb der Wirkungsſphäre. Liegt die Linie GF ſymmetriſch zwiſchen BE und CD, ſo bezeichnet ſie zugleich die Richtung der reſultirenden Kräfte und die Anziehung erfolgt nach dieſer Richtung.

Handelt es ſich nicht um anziehende, ſondern um abſtoßende Kräfte, ſo bleibt alles wie zuvor, nur wird das Theilchen A von den innerhalb D F E befindlichen Theilchen abgeſtoßen, und es erfolgt eine reſultirende Abſtoßung nach der Richtung F A. Je näher A der Oberfläche liegt, und je weiter ſich daher die Wirkungsſphäre über M N hinaus erſtreckt, deſto größer iſt die reſultirende Anziehung oder Abſtoßung auf A, weil D F E deſto mehr wirkſame Theile enthält und dieſe ſich zugleich deſto näher an A befinden.

195. Stellt der kleine Kreis (Fig. 46) den Durchſchnitt der Abſtoßungs-, der größere jenen der Anziehungsſphäre vor, ſo ſieht man, daß alle innerhalb des erſteren Kreiſes liegenden Theilchen abſtoßend, alle innerhalb des Zwiſchenraumes befindlichen anziehend auf A wirken. Liegt nun A der Oberfläche M N näher als der Halbmeſſer der Anziehungsſphäre iſt, ſo erſcheint die reſultirende Wirkung aller Theile auf A anziehend. Iſt aber m n die Oberfläche der Flüſſigkeit und demnach A näher an derſelben als ſelbſt der Halbmeſſer der Abſtoßungsſphäre iſt; ſo iſt die Geſammtwirkung der Theile auf A aus Abſtoßung und Anziehung zuſammengeſetzt, iſt dann die reſultirende Anziehung kleiner als die reſultirende Abſtoßung, ſo erſcheint die Totalwirkung abſtoßend. Letzteres iſt nun in der Regel bei den oberflächlich liegenden Theilchen der Fall.

196. Aus dieſen Betrachtungen geht hervor, daß jede unendlich dünne Schichte im Innern eines tropfbaren Körpers durch eine Kraft zuſammengedrückt werde, welche aus der Geſammtwirkung der Abſtoßung der unmittelbar angrenzenden und aus der Anziehung der etwas entfernteren Theile entſpringen muß und man ſich die Sache ſo vorſtellen könne, als wenn ſich die genannte Schichte an die einerſeits befindliche Flüſſigkeit anſtemmte, und von der andererſeits gelegenen comprimirt würde. Die Größe der Compreſſion hängt natürlich von der drückenden Kraft ab. In hinreichender Entfernung von der freien Oberfläche der Flüſſigkeit und von den Wänden des Gefäßes hat die drückende Schichte eine Dicke, welche dem Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der kleinſten Theile gleich iſt, und die Compreſſion iſt demnach für alle ſo gelegenen Schichten gleich groß, wenn man von der geringen Compreſſion, die von der Schwere herrührt und ſich mit der Entfernung von der Oberfläche ändert, abſieht. Man kann daher annehmen, im Inneren einer flüſſigen Maſſe ſeyen alle Theile in einem gleichen Zuſtande der Compreſſion. Die an der Oberfläche befindlichen Theile ſind entweder gar nicht oder doch nicht mehr zuſammengedrückt, als es der etwa vorhandene und zum Fortbeſtehen des flüſſigen Zuſtandes oft ſogar nöthige äußere Druck mit ſich bringt. Die zunächſt unter der Oberfläche liegenden erleiden durch die oberflächlich liegenden ſchon eine geringe Compreſſion, die noch tiefer einwärts liegenden eine noch größere, und ſo kommt es, daß die Dichte der Flüſſigkeit von außen nach innen bis zu einer allerdings nur ſehr geringen Tiefe nach einem uns unbekannten Geſetze zunimmt. In der Nähe der Gefäßwände iſt die Dichte der Flüſſigkeit aus ähnlichen Gründen

von der im Inneren verſchieden Wirken dieſe Wände nicht auf die flüſſigen Theile, ſo verhalten ſich die letzteren ſo wie an der freien Oberfläche; wirken ſie auf die Flüſſigkeit, ſo modificiren ſie das Geſetz der Dichte und können ſogar durch ihre Anziehung bewirken, daß die Dichte von der Wand nach einwärts bis zu einer gewiſſen Entfernung abnimmt und die Theile der an der Wand anliegenden Schichte ihre große Verſchiebbarkeit verlieren.

197. Der Zuſtand der vollkommenen Flüſſigkeit wird durch die abſolute Verſchiebbarkeit der Molekel charakteriſirt. Die Naturkörper, welche die Verſchiebbarkeit der Molekel nicht in dieſem hohen Grade beſitzen, können daher auch nicht für vollkommene Flüſſigkeiten gelten. Unter den tropfbaren Stoffen nähert ſich dieſem mathematiſchen Zuſtande am meiſten die comprimirte Schwefelwaſſerſtoffſäure, dann comprimirter Kohlenwaſſerſtoff; mehr entfernt davon ſteht das Waſſer und noch mehr die fetten Oehle. Manche Körper weichen von dem Zuſtande der vollkommenen Flüſſigkeit gar weit ab und erſcheinen in einer Art Mittelzuſtand zwiſchen Feſtigkeit und Flüſſigkeit, wie z. B. Honig, viele Oehle. Dieſer Zuſtand hängt von einer ſolchen Annäherung der Theile an einander ab, bei welcher die Ungleichheit der Molecularkraft nach verſchiedenen Richtungen ſchon merklich zu werden anfängt, oft aber auch davon, daß ſolche Körper Gemenge eines flüſſigen und eines fein zertheilten, feſten Stoffes ſind, wie dieſes bei erkaltenden fetten Oehlen der Fall iſt, bei welchen das Stearin eher feſt wird als das Elain.

Man kann daher allerdings auch Grade der Flüſſigkeit annehmen und der Meſſung unterwerfen, indem man derſelben ein Phänomen zum Grunde legt, welches von der größeren oder geringeren Verſchiebbarkeit der Flüſſigkeitstheilchen abhängt, z. B. die Menge der Flüſſigkeit, welche binnen einer feſtgeſetzten Zeit aus einem enghalſigen Gefäße abfließt

198. Die Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten laſſen ſich aus der bloßen Leichtigkeit der Verſchiebung ihrer Molekel und aus der Schwierigkeit dieſe einander näher zu bringen vollſtändig ableiten, ſobald man nur auf die Kräfte, welche die Molekel beherrſchen, gehörig achtet. Nach dem, was vorher gelehrt wurde, überzeugt man ſich leicht, daß hier folgende Kräfte in Betrachtung zu ziehen ſind. 1) Die Schwere; 2) die Molecularkräfte der Flüſſigkeit ſelbſt; 3) die Molecularkräfte, welche fremdartige, an die Flüſſigkeit grenzende Körper auf letztere ausüben. Hiezu kommt noch in den meiſten Fällen 4) ein äußerer Druck. Gewöhnlich hat die Schwere über die genannten Molecularkräfte ein ſo entſchiedenes Uebergewicht, daß die Wirkungen letzterer gegen erſtere verſchwinden und man daher eine tropfbare Flüſſigkeit ſo behandeln darf, als wäre ſie ein Aggregat ſchwerer, gegen einander und gegen die Gefäßwände ganz indifferenter Partikel, dergeſtalt daß die Tropfenbildung ganz hinwegfällt und die Benennung »tropfbare Flüſſigkeiten« unpaſſend wird. Hiezu fügt man zur Erleichterung der theoretiſchen Unterſuchung noch abſolut leichte Verſchiebbarkeit dieſer Partikel und

Unzuſammendrückbarkeit der von ihnen gebildeten Maſſe, ja man abſtrahirt ſogar von der Poroſität und nimmt die Sache ſo, als erfüllte die Flüſſigkeit ihren Raum mit Stetigkeit. In der That wird man, wenn man ſich die Beſchaffenheit gewöhnlicher tropfbarer Flüſſigkeiten, z. B. des Waſſers, Weingeiſtes u dgl. vor Augen hält, wohl keinen Grund finden, aus welchem man befürchten ſollte, aus dieſen Vorausſetzungen unbrauchbare oder von der Erfahrung ſichtlich abweichende Reſultate hervorgehen zu ſehen. Allein in andern Fällen darf man die Kräfte, welche die Molekel gegen einander und die Gefäßwände gegen ſie äußern, nicht bei Seite ſetzen, da ſie den Hergang der Erſcheinungen weſentlich beſtimmen. Darnach zerfällt die Unterſuchung des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten in drei Theile. Im erſteren werden jene Geſetze betrachtet, die ſich aus der leichten Verſchiebbarkeit der Theile ergeben und gelten, was immer für Kräfte auf ſie wirken mögen; im zweiten werden bloß die Wirkungen der Schwere betrachtet, jene der Molecularkräfte aber unbeachtet gelaſſen; im dritten endlich werden auch die Molecularkräfte gehörig beachtet.

D. Allgemeine Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten ohne Rückſicht auf die Kräfte, die darauf wirken.

199. Alle Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten, welche aus der abſolut leichten Verſchiebbarkeit ihrer kleinſten Theile folgen, müſſen als allgemein betrachtet werden. Die erſte Folgerung aus dieſer Eigenſchaft der Flüſſigkeiten iſt, daß ſich in einer flüſſigen Maſſe die Wirkung einer Kraft, welche nur nach einer beſtimmten Richtung zielt, nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fortpflanzt. Man denke ſich in einem von allen Seiten geſchloſſenen Gefäße ABCD (Fig. 47) eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer (von deſſen Schwere man vor der Hand abſehen kann) und über einer Oeffnung GH deſſelben einen dicht anſchließenden Kolben EFGH, der mit der Kraft P abwärts gedrückt wird. Dieſer Druck wirkt zwar unmittelbar nur auf die Waſſertheilchen, welche die untere Kolbenfläche berühren, pflanzt ſich aber durch dieſe nach allen Richtungen fort. Die nach abwärts gerichtete Fortpflanzung iſt für ſich klar, weil nach dieſer Richtung die Kraft P wirkt; aber wegen der Fähigkeit jedes einzelnen Theilchens, nach allen Richtungen gleich leicht auszuweichen, muß ſie auch nach den Seitenwänden erfolgen, und zwar wird jedes Stück ſowohl des Bodens CD, als auch der Wände AD, BC, AH, GB, welches der Kolbenfläche GH an Flächeninhalt gleich iſt, mit der Kraft P auswärts gedrückt. Verhält ſich daher die Fläche GH zur Fläche des Stückes LM der Seitenwand BC, wie a zu b, und nennt man den Druck, welchen LM in Folge der Einwirkung der Kraft P auf GH leidet, Q; ſo beſteht die Proportion $P:Q=a:b$. Denkt man ſich eine Oeffnung bei LM, und dieſe durch einen Kolben geſchloſſen, auf den die Kraft Q nach einwärts wirkt, ſo halten die Kräfte P und Q einander das Gleichgewicht. Eine Vorrichtung dieſer Art läßt ſich demnach als eine ein-

fache Maſchine betrachten, wobei das Gefäß ABCD jede beliebige Form haben, und die Oeffnungen GH, LM an beliebigen Stellen deſſelben angebracht ſeyn können.

Den Satz der allſeitigen Fortpflanzung des Druckes in Flüſſigkeiten hat zuerſt Paſcal um die Mitte des ſiebzehnten Jahrhunderts der Theorie ihres Gleichgewichtes zum Grunde gelegt.

200. Eine weitere Folge der abſoluten Verſchiebbarkeit der Theile iſt, daß eine flüſſige Maſſe nur dann im Gleichgewichte ſtehen kann, wenn ſich die auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kräfte für ſich im Gleichgewichte befinden, mithin wenn ſich dieſe Kräfte ſelbſt aufheben, oder durch einen Widerſtand aufgehoben werden. Einen ſolchen Widerſtand leiſten die Wände der Gefäße durch ihre Feſtigkeit, auch die Theile tropfbarer Flüſſigkeiten durch ihre Unzuſammendrückbarkeit. Hieraus kann man nun klar einſehen, daß das Gleichgewicht einer flüſſigen Maſſe nicht geſtört wird, wenn man einen Theil derſelben durch eine feſte Wand erſetzt, welche durch ihre Feſtigkeit dasſelbe leiſtet, was die von ihr verdrängten flüſſigen Theile durch ihre Unzuſammendrückbarkeit zu leiſten vermochten; oder umgekehrt, wenn man an die Stelle einer feſten Wand flüſſige Theile ſetzt.

201. Befindet ſich eine Flüſſigkeit in einem offenen Gefäße, ſo muß im Stande des Gleichgewichtes die Oberfläche ſo geſtaltet ſeyn, daß die Richtungen der auf ſie wirkenden Kräfte auf ihr ſenkrecht ſtehen; denn widrigenfalls könnte jede Kraft in zwei zerlegt werden, wovon eine in der zu ihrem Angriffspuncte gehörigen Berührungsebene wirken und daher ein Hingleiten der Theile längs derſelben verurſachen würde.

202. Nach dieſen Geſetzen richten ſich alle flüſſigen Körper, ſowohl die tropfbaren als die ausdehnſamen, weil ſie auf einer Eigenſchaft beruhen, die beiden gemeinſchaftlich zukommt; doch gibt es ſowohl für die einen als für die andern Körper auch beſondere Geſetze, und dieſe müſſen durch jene Eigenſchaften beſtimmt werden, auf denen das Weſen des tropfbaren oder ausdehnſamen Zuſtandes beruht. Tropfbare Körper, von denen hier vorzugsweiſe gehandelt werden ſoll, ſind ſo ſchwer zuſammendrückbar, daß nur ſehr große Kräfte eine merkliche Compreſſion bewirken, und ſie für mäßige Kräfte als völlig unzuſammendrückbar angeſehen werden können. Dieſe Eigenſchaft begründet das Daſeyn eigenthümlicher Geſetze für ſolche Körper.

Auf der in 199 beſprochenen Fortpflanzung des Druckes und der Unzuſammendrückbarkeit einer Flüſſigkeit beruht die Bramah'ſche Preſſe (Fig. 48). Dieſe beſteht im Weſentlichen aus zwei verticalen, cylindriſchen, mit Waſſer gefüllten Gefäßen A und B von ungleichen Durchmeſſern, die mittelſt einer horizontalen Röhre C mit einander verbunden ſind und in deren jedem ſich ein Kolben bewegt. Wird der Kolben des engeren mittelſt eines Hebels D auch nur mit mäßiger Kraft herabgedrückt, ſo wirkt dieſer Druck verſtärkt auf den größeren Kolben. Damit beim Zurückziehen des kleineren Kolbens der größere nicht zurückgehen könne, iſt in der Verbindungsröhre beider Cylinder eine Klappe angebracht, welche dem Waſſer vom engeren Cylinder in den

weiteren zu gehen geſtattet, aber nicht umgekehrt. Um mit jedem Spiel des kleineren Kolbens den größeren vorwärts zu bringen, iſt mit jenem ein Waſſergefäß mittelſt einer Klappe in Verbindung, aus welchem bei jedem Hub des kleineren Kolbens eine neue Portion Waſſer in den Cylinder dringt, ohne beim Sinken des Kolbens wieder in dasſelbe Gefäß zurückkehren zu können. Nur wenn man die Communication zwiſchen dem größeren Cylinder und dem Waſſergefäße herſtellt, kann das Waſſer wieder aus jenem in dieſes gelangen, worauf der Kolben durch ſein eigenes Gewicht ſinkt und dem Drucke auf den Körper, welcher ſich zwiſchen der Kolbenplatte E und dem Gerüſte der Preſſe F befindet, ein Ende macht. Es iſt leicht, die Kraft zu berechnen, mit welcher ein beſtimmter, unmittelbar am äußerſten Hebelarme angebrachter Druck auf den größeren Kolben wirkt. Iſt D der Durchmeſſer des größeren, d derjenige des kleineren Kolbens, A der längere, a der kürzere Hebelarm; ſo wird die am Hebelende wirkende Kraft p durch den Hebel in dem Verhältniſſe a : A, durch die ungleiche Dicke der Kolben in dem Verhältniſſe $d^2 : D^2$ verſtärkt, und wirkt daher auf den größeren Kolben mit der Stärke $p \cdot \frac{D^2 A}{d^2 a}$. Man braucht dieſe Preſſe bei vielen induſtriellen Arbeiten, ſelbſt zum Heben großer Laſten.

E. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer tropfbarer Körper, ohne Rückſicht auf Molecularkräfte.

203. Befindet ſich eine ſchwere Flüſſigkeit in hinreichender Menge in einem Gefäße, ſo muß der Druck der oberen Theile auf die unteren ein Auseinanderfließen der tropfbaren Maſſe bewirken, das nur durch den Widerſtand des Gefäßes aufgehoben wird. Deßhalb nehmen tropfbare Flüſſigkeiten in größerer Menge immer die Form des Gefäßes an, worin ſie ſich befinden. Iſt dieſes Gefäß offen, ſo muß ſich die Geſtalt der Oberfläche der Flüſſigkeit einem Kugelſegmente in dem Maße nähern, in welchem ſich die Geſtalt der Erde einer Kugel nähert; denn nur in dieſem Falle ſteht die Richtung der Schwere jedes Theilchens auf der Oberfläche ſenkrecht. In kleinen Gefäßen kann man die Richtungen der Schwere für parallel halten, und daher, in ſo fern nämlich von der Molecularwirkung der Gefäßwände auf die Flüſſigkeit abgeſehen wird, annehmen, die Oberfläche der Flüſſigkeit liege in einer horizontalen Ebene. Dieſe Ebene heißt der Spiegel oder das Niveau der Flüſſigkeit.

204. Durch die Schwere erleiden alle Theile einer Flüſſigkeit einen Druck nach abwärts, und daher (wegen 199) auch einen Druck nach allen Seiten. Um dieſen Druck für ein Theilchen im Innern der Maſſe ermeſſen zu können, denke man ſich in ihr ein ſolches unendlich kleines Theilchen a (Fig. 49), von dem man leicht ſieht, daß es durch das Gewicht der Säule ab abwärts, mithin auch eben ſo ſtark ſeitwärts und aufwärts gedrückt wird. Es hängt daher dieſer Druck von der Tiefe des Theilchens a unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ab, und Theilchen, die in einer mit der Oberfläche parallelen Fläche (mithin bei kleinen Maſſen in derſelben horizontalen Ebene) liegen, erleiden einen gleichen Druck nach allen Seiten. Daß kein Theilchen ausweicht, kommt vom Gegendrucke der übrigen her.

205. Iſt Fig. 50 ein bis A B mit einer Flüſſigkeit gefülltes Gefäß und A B horizontal, ſo kann man im Inneren eine feſte Wand C E D entſtehen laſſen, ohne daß dadurch dem Gleichgewichte Abbruch gethan wird (200). Es werden daher auch im Gefäße A C E D B die Oberflächen der Flüſſigkeit A C und B D in derſelben Horizontalebene liegen, mögen übrigens die Wände des Gefäßes wie immer beſchaffen ſeyn. Gefäße, bei denen der Uebergang von einem in das andere nicht geſperrt iſt, heißen *Communicationsgefäße*. Eine ruhige Flüſſigkeit ſteht in ſolchen daher immer gleich hoch.

Hierauf beruht das Aufſteigen des Waſſers ſowohl in den gewöhnlichen als in den ſogenannten Arteſiſchen Brunnen, des Grundwaſſers in Flüſſen, auch die Einrichtung der gewöhnlichen Lampen und der dochtloſen Nachtlampen (Pogg. Ann. 10. 624 u. ſ. w.)

206. Wenn ein Gefäß, wie Fig. 51, mit geradlinigem, horizontalen Boden C D und verticalen Wänden A C und B D von einer Flüſſigkeit erfüllt iſt, ſo drückt jedes Theilchen auf den Boden; es wird daher der geſammte Bodendruck P gleich ſeyn dem abſoluten Gewichte der Flüſſigkeit, mithin dem Producte aus der Baſis B des Gefäßes, in die Höhe A der Flüſſigkeit und in ihr ſpecifiſches Gewicht S, oder es iſt $P = ABS$. Daſſelbe gilt auch für jedes andere Gefäß von was immer für einer Geſtalt, und der Bodendruck iſt von der Menge der Flüſſigkeit ganz unabhängig und richtet ſich nur nach der Baſis, der Höhe und dem ſpecifiſchen Gewichte derſelben. Denn es ſey (Fig. 52) das Gefäß A B C D mit einer Flüſſigkeit bis A B gefüllt, und man denke es ſich als ein Stück eines Communicationsgefäßes A B E F. In dieſem wird offenbar Gleichgewicht herrſchen, ſobald die Flüſſigkeit bis A B und E F reicht, es mag nun das unregelmäßige Gefäß A B C D, oder das regelmäßige, mit verticalen Wänden verſehene G C D H den zweiten Arm ausmachen. In beiden Fällen wird C D von oben nach unten und von unten nach oben mit gleichen Kräften gedrückt. Aber der Druck von unten nach oben bleibt, ſo lange an dem Schenkel C D E F nichts geändert wird, ſtets derſelbe; es muß daher daſſelbe auch von dem Drucke gelten, den E F von oben nach unten erleidet. Es iſt alſo der Druck auf C D in beiden Gefäßen gleich groß. Ein beſtimmter Druck einer ruhenden Flüſſigkeit auf die horizontale Baſis = 1 fordert demnach nur eine beſtimmte Höhe der drückenden Säule. Man nennt ſie die *hydroſtatiſche* Druckhöhe. Auf dem Bodendrucke beruhen der anatomiſche Heber und ſeine Benützung als Wage, die Waſſerſäulenmaſchine, *Real's* Preſſe ꝛc.

Der *anatomiſche Heber* (Fig. 53) iſt ein Communicationsgefäß mit zwei ungleich hohen und ſehr ungleich weiten Armen, wovon der weitere und kürzere mit einer Blaſe verbunden, der längere und engere aber offen und zur Aufnahme jenes Waſſers beſtimmt iſt, welches die Blaſe über den weiteren Arm ſpannen oder ein darauf liegendes Gewicht heben ſoll.

Die *Waſſerſäulenmaſchine* unterſcheidet ſich vom anatomiſchen Heber dadurch, daß der weitere Arm durch einen wohl anliegenden Kolben geſchloſſen iſt, der durch den Druck des Waſſers aufwärts

bewegt wird, nach Abfluß deſſelben aber (welches durch einen eigenen Hahn, oder einen Hilfskolben bewerkſtelliget wird), durch ſein eigenes Gewicht ſinkt, wenn nicht die Einrichtung ſo getroffen iſt, daß ihn auch nach dieſer Richtung eine Waſſerſäule treibt. (Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 257.)

Real's Preſſe (Fig. 54) iſt ein weiter Cylinder mit zwei ſiebartig durchlöcherten Platten a, b, der oben mit einer hohen engen Anſatzröhre c verſehen iſt, um das Waſſer aufzunehmen, welches beſtimmt iſt, auf die im Cylinder befindliche, auszupreſſende Subſtanz einen Druck auszuüben.

207. Mittelſt der vorhergegangenen Berechnung des Bodendruckes iſt man im Stande zu beweiſen, daß ſich die Höhen der Säulen ungleichartiger, in Communicationsgefäßen im Gleichgewichte ſtehenden Flüſſigkeiten verkehrt, wie ihre ſpecifiſchen Gewichte, verhalten. Gießt man in das Gefäß Fig. 55 z. B. Queckſilber, ſo daß es bis A und B reicht; ſo wird es im Gleichgewichte ſtehen, wenn A und B in einer horizontalen Ebene liegen (205). Gießt man nun auf A irgend eine andere, leichtere Flüſſigkeit, z. B. Weingeiſt, bis C, ſo wird deßhalb das Queckſilber von A bis D zurückweichen, hingegen im andern Schenkel bis E ſteigen. Man denke ſich D und F in derſelben Horizontalebene, bezeichne die Höhe der Säule DC mit A, die der Säule FE mit a, das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers mit s, das des Weingeiſtes mit S, den Röhrenquerſchnitt bei D mit b; ſo iſt der Druck auf dieſe Ebene von Seite des Queckſilbers gleich abs, von Seite des Weingeiſtes gleich AbS (206), und man hat

$$abs = AbS, \text{ mithin } a : A = S : s.$$

208. Daß jeder Punct der Seitenwand eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes M (Fig. 56) einen Druck erleidet, erſieht man leicht aus 199. Die Größe dieſes Druckes richtet ſich offenbar nach der Tiefe des gedrückten Theiles unter der Oberfläche der Flüſſigkeit. Deßhalb wird der Druck auf ein ſehr kleines Flächenſtückchen bei E durch die Säule GE, jener auf ein eben ſolches Flächenſtückchen bei F durch die Säule HF gemeſſen. Ein Stück der Seitenwand, deſſen höchſter Punct in der Tiefe EG und deſſen tiefſter Punct in der Tiefe FH unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ſteht, erleidet alſo einen Totaldruck, der dem Gewichte einer Flüſſigkeitsſäule gleichkommt, deren Baſis die Fläche des gedrückten Stückes, deren Höhe größer als GE und kleiner als HF iſt, überhaupt aber mittelſt Elementarrechnung nicht immer gefunden werden kann.

Wenn man überhaupt von dem *Drucke* ſpricht, den eine Flüſſigkeit *an irgend einer Stelle* der Seitenwand oder des Bodens oder einer im Inneren angeordneten Fläche äußert, ſo meint man den Druck, den die Fläche = 1 erleiden würde, wenn jedes unendlich kleine Theilchen derſelben genau ſo belaſtet wäre, wie ein gleiches unendlich kleines Flächenſtückchen an der in das Auge gefaßten Stelle in der Flüſſigkeit wirklich belaſtet iſt. Nennen wir den auf dieſe Weiſe erhaltenen Geſammtdruck auf die Flächeneinheit Q, den Druck, der auf ein unendlich kleines Flächenſtückchen ω ſowohl an der bezeichneten Stelle, wie auch auf der Flächeneinheit Statt findet, q; ſo iſt offenbar

$Q : q = 1 : \omega$ mithin $Q = \frac{q}{\omega}$. Man hat alſo ſtreng genommen den Druck Q als die Grenze zu betrachten, der ſich der Quotient $\frac{q}{\omega}$ unendlich nähert, wenn man das Flächenſtückchen ω, und im Einklange damit auch q, ins Unendliche verkleinert denkt.

Aus der Berechnung des Seitendruckes leitet man die Vorſchriften für Anlegung der Dämme, Schleuſen ꝛc. ab.

209. Durch den Seitendruck bekommt der gedrückte Theil ein Beſtreben, ſich nach der Richtung des Druckes fort zu bewegen; es kommt aber gewöhnlich zu keinem Erfolge, weil ein gegenüberſtehender Theil einer hinlänglich feſten Wand ein gleiches Beſtreben nach entgegengeſetzter Richtung erhält. Bringt man aber auf einer Seite der Wand eine Oeffnung an, ſo findet daſelbſt kein Druck mehr Statt, und die gegenüberſtehende Seitenwand muß ſich fortbewegen. Dieſes zeigt die Erfahrung am Segner'ſchen Rade.

Segner's Rad beſteht aus einem verticalen, cylindriſchen Gefäße (Fig 57), welches um eine verticale Axe beweglich iſt, und unten zwei oder mehrere horizontale, gleichſam ein Rad bildende, am Ende ſeitwärts gebogene Ausflußröhrchen hat. Das durch dieſelben aus dem Cylinder fließende Waſſer ſetzt ihn nach einem der Richtung des Ausfluſſes entgegengeſetzten Sinne in drehende Bewegung.

210. Befindet ſich ein fremdartiger Körper in einer Flüſſigkeit, ſo erleidet er denſelben Druck nach allen Seiten, welchen die Flüſſigkeit an ſeinem Platze erleiden würde. Der Druck ſeitwärts wird durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben, der Druck aufwärts übertrifft aber den nach unten gerichteten um das Gewicht der vom eingetauchten Körper verdrängten Flüſſigkeit. Um dieß einzuſehen, denke man ſich im Gefäße M (Fig. 56), welches bis AG voll iſt, einen Theil N der darin befindlichen Flüſſigkeit von beliebigem Volum und beliebiger Geſtalt. Auf der Begrenzung deſſelben wähle man irgend ein unendlich kleines Flächenſtückchen a, und betrachte dieſes als Baſis eines verticalen Cylinders, der aufwärts und abwärts fortgeſetzt, die Oberfläche der Flüſſigkeit in c, die Begrenzung des Flüſſigkeitsſtückes N aber noch einmal in b treffe. Offenbar erleidet a von der N umgebenden Flüſſigkeit einen abwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte der Säule ac und b einen aufwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte bc entſpricht. Letzterer übertrifft erſteren um das Gewicht der Säule ab, und man kann ſich vorſtellen, daß dieſe durch den aufwärts wirkenden Unterſchied beider Druckkräfte getragen werde. Ein Gleiches läßt ſich von jeder andern in N vorhandenen verticalen Flüſſigkeitsſäule a'b' ſagen; es wird demnach die Flüſſigkeitsmaſſe N durch den aufwärts wirkenden, ihrem Gewichte gleichen Unterſchied der Druckkräfte, welche ſie von der umgebenden Flüſſigkeit nach aufwärts und abwärts erfährt, im Gleichgewichte erhalten. Das Gewicht der Flüſſigkeit in N iſt im Schwerpuncte derſelben vereinigt; durch dieſen muß daher auch der aufwärts gerichtete Druck gehen. Durch eine ähnliche Be-

trachtung läßt ſich zeigen, daß aus der Action der umgebenden Flüſſigkeit auf N keine horizontal wirkende Kraft hervorgehe, indem jeder auf ein Theilchen der Begrenzung von N Statt findende horizontale Druck durch den auf ein gegenüberliegendes Theilchen ausgeübten aufgehoben wird. Daſſelbe, was hier mit der Flüſſigkeit in N geſchieht, muß auch für jeden fremdartigen Körper, der in dieſelbe getaucht iſt und das Volum N hat, gelten. Man kann deßhalb von jedem in eine Flüſſigkeit getauchten Körper behaupten, daß alle auf ſeine Oberfläche wirkenden Kräfte eine einzige Reſultirende haben, die vertical aufwärts durch den Schwerpunct der aus ihrem Raume verdrängten Flüſſigkeit geht, und gleich iſt dem Gewichte dieſer Flüſſigkeit.

211. Eine natürliche Folge des vorhergehenden Satzes iſt, daß jeder ſchwere Körper in einer Flüſſigkeit ſo viel von ſeinem Gewichte verliert, als die durch ihn verdrängte Flüſſigkeit wiegt. Heißt daher das Gewicht eines Körpers im leeren Raume P, das der Flüſſigkeit unter demſelben Volum p; ſo iſt ſein Gewicht in der Flüſſigkeit $P - p$. Zeigt ſich $P > p$, ſo ſinkt er in der Flüſſigkeit zu Boden; iſt $P = p$, ſo verhält er ſich in ihr wie eine ſchwerloſe Maſſe; iſt aber gar $P < p$, ſo ſteigt er in die Höhe, bis nur ein Stück von ihm eingetaucht iſt, unter deſſen Volum die Flüſſigkeit ſo viel wiegt, als der ganze eingetauchte Körper. Es iſt klar, daß P und p als Gewichte unter demſelben Volum in demſelben Verhältniſſe ſtehen, wie die ſpecifiſchen Gewichte (35) des eingetauchten Körpers und der Flüſſigkeit. Man kann daher ſagen: Ein in eine Flüſſigkeit ganz eingetauchter, ſich ſelbſt überlaſſener Körper ſinkt zu Boden, bleibt ſtehen oder ſteigt aufwärts, je nachdem er ſpecifiſch ſchwerer, eben ſo ſchwer oder leichter iſt als die Flüſſigkeit.

Dieſen Hauptſatz der Hydroſtatik hat Archimedes gefunden.

212 Da auf einen Körper, der ſich in einer Flüſſigkeit befindet, zwei Kräfte wirken, nämlich ſein Gewicht, das ihn abwärts zieht und in ſeinem Schwerpuncte vereinigt gedacht werden kann, und der Druck der Flüſſigkeit, welcher ihn aufwärts treibt, dem Gewichte der vom Platze geſchobenen Flüſſigkeitsmaſſe gleich iſt und den vormaligen Schwerpunct derſelben zum Angriffspuncte hat; ſo hängt das Gleichgewicht des Körpers in der Flüſſigkeit bloß von der Wirkung zweier Kräfte ab, die nach verticalen, aber entgegengeſetzten Richtungen wirken und an dem Endpuncte einer beide Schwerpuncte verbindenden Linie angebracht ſind. Damit alſo ein Körper in einer Flüſſigkeit im Gleichgewichte ſich befinde, wird erfordert: 1) daß ſein Gewicht dem der verdrängten Flüſſigkeit gleich ſey, 2) daß der Schwerpunct der Flüſſigkeit und der Schwerpunct des eingetauchten Körpers in derſelben verticalen Linie liegen. Vermöge der erſten Bedingung kann er nicht ſteigen oder ſinken, d. h. er ſchwimmt; vermöge der zweiten kann er ſich nicht drehen. Man kann füglich annehmen, daß es für jeden Körper eine oder mehrere Lagen gibt, in welcher die zweite Bedingung erfüllt iſt. In Betreff der erſten Bedingung liegt am Tage,

daß ſie nur bei Körpern erfüllt werden kann, deren ſpecifiſches Gewicht nicht größer als jenes der Flüſſigkeit iſt. Wenn auch der zweiten Bedingung Genüge geſchieht, iſt noch zu beurtheilen, ob das Gleichgewicht des ſchwimmenden Körpers ſtabil oder labil ſey. Zu dieſem Ende denke man ſich denſelben durch eine ſehr geringe Neigung aus ſeiner Gleichgewichtslage gebracht, und unterſuche, ob er jetzt in ſeine frühere Stellung zurückzukehren oder ſich von derſelben noch mehr zu entfernen ſtrebt. Es ſey G (Fig. 58) der Schwerpunct des bereits in geneigter Stellung befindlichen Körpers, Gx die Gerade, welche in der Gleichgewichtslage des Körpers eine verticale Stellung hatte, in welcher ſich daher auch der Schwerpunct der vom Körper verdrängten Flüſſigkeit befand, und man laſſe den Winkel, den Gx mit der verticalen Richtung Gz bildet, ſehr klein ſeyn. Der Schwerpunct der jetzt verdrängten Flüſſigkeit wird im Allgemeinen nicht in Gz liegen, ſondern in einen dem Schwerpuncte der früher verdrängten Flüſſigkeit benachbarten Punct F außerhalb der Gz fallen. Nehmen wir, um einen leicht faßlichen Fall vor Augen zu haben, an, der Körper ſey zu beiden Seiten einer Ebene, in welcher Gx liegt, wenigſtens ſo weit er in die Flüſſigkeit taucht, ſymmetriſch gebaut, und dieſe Ebene bleibe während der Neigung desſelben vertical, ſo daß auch Gz in derſelben liegt. Der Schwerpunct F wird nothwendig ebenfalls in dieſer Ebene liegen, mithin muß die durch ihn gehende Verticallinie Fy der Gx in einem Puncte M begegnen. Man nennt ihn das Metacentrum des ſchwimmenden Körpers, und kann ihn als den Angriffspunct der den Körper in ſeiner jetzigen geneigten Lage aufwärts treibenden Kraft anſehen. Hier zeigt ſich nun augenſcheinlich, daß die zwei Kräfte, die den Körper beherrſchen, ihn gegen ſeine frühere Lage hinzutreiben ſuchen, wenn der Schwerpunct G tiefer liegt als das Metacentrum M, und daß ſie die Abweichung des Körpers von ſeiner Gleichgewichtslage noch zu vergrößern ſuchen, wenn das Umgekehrte obwaltet. Im erſten Falle iſt die hier betrachtete Gleichgewichtslage des Körpers in der Flüſſigkeit eine ſtabile, im zweiten eine labile. Weil der Schwerpunct F der verdrängten Flüſſigkeit in der geneigten Lage des Körpers von jenem in der Gleichgewichtslage bei ſo geringer Verrückung des Körpers nur ſehr wenig abweichen kann, alſo in der Nähe der Gx bleiben muß; ſo ſieht man leicht ein, daß der erſte Fall ganz gewiß vorhanden iſt, wenn der Schwerpunct des Körpers in der Gleichgewichtslage unter dem Schwerpuncte der verdrängten Flüſſigkeit ſteht, findet aber die entgegengeſetzte Anordnung beider Schwerpuncte Statt, ſo läßt ſich im Allgemeinen nichts Beſtimmtes ſagen, denn es kann hiebei das Metacentrum ſowohl über, als unter dem Schwerpuncte des Körpers erſcheinen, mithin das Gleichgewicht ſo gut ſtabil als labil ſeyn. Befindet ſich alſo der Schwerpunct des in einer Flüſſigkeit im Gleichgewichte ſchwimmenden Körpers unter dem Schwerpuncte der verdrängten Flüſſigkeit, ſo hat der Körper Stabilität; iſt er im labilen Zuſtande, ſo liegt der Schwerpunct des Körpers höher als jener der Flüſſigkeit; jedoch keiner dieſer zwei Sätze läßt ſich rein umkehren.

213. Da die Beſtimmung der Umſtände, unter welchen ein Körper in einer Flüſſigkeit in die Höhe ſteigt oder hinabſinkt, ſich auf die Betrachtung des Druckes gründet, den die Flüſſigkeit auf jeden ihrer Theile ausübt, ſo bleiben dieſe Umſtände ganz dieſelben, wenn eine Flüſſigkeit ſtatt eines feſten Körpers in eine Flüſſigkeit gebracht wird, und die oben vorgetragenen Sätze finden ſelbſt dann noch Anwendung, wenn die Flüſſigkeiten chemiſch mit einander verwandt ſind, ſo lange die Miſchung derſelben noch nicht vor ſich gegangen iſt.

So ſchwimmt nicht bloß Baumöhl, ſondern auch Wein auf Waſſer, dieſes auf Schwefelſäure u. dgl. Warmes Waſſer ſteigt in kaltem in die Höhe, daher die innere Bewegung, wenn man Waſſer von unten erwärmt. Auf der ſpecifiſchen Leichtigkeit der Luft im Vergleiche mit Waſſer beruht auch die Waſſerwage. Sie beſteht aus einer cylindriſchen Röhre (Fig. 59), die in der Richtung ihrer Länge kreisförmig gebogen, bis auf einen kleinen Theil mit Waſſer oder beſſer mit Weingeiſt gefüllt und luftdicht verſchloſſen iſt. Gewöhnlich wird ſie durch Stützen getragen, die eine gleiche Höhe haben, wohl auch mittelſt Stellſchrauben verkürzt oder verlängert werden können. Steht die Baſis horizontal, ſo hat die Mitte der Röhre den höchſten Stand, und die Mitte der Luftblaſe fällt mit ihr zuſammen; wird die Baſis aber aus der horizontalen Lage verrückt, ſo geht auch die Luftblaſe näher gegen das höhere Ende hin. Es dient daher die Waſſerwage, um eine Ebene horizontal zu ſtellen oder zu erkennen, ob eine Ebene horizontal ſey oder nicht.

214. Zwei oder mehrere Flüſſigkeiten können ſich ohne Rückſicht auf ihr ſpecifiſches Gewicht in jeder Ordnung über einander lagern und im Gleichgewichte ſtehen; Stabilität haben ſie aber nur, wenn ſie ſich nach der Ordnung ihrer ſpecifiſchen Gewichte über einander befinden und die ſpecifiſch ſchwerſte den unterſten Platz einnimmt. (Vergl. 47.)

Darum kann man in einer engen Glasröhre Waſſer, ja ſogar Queckſilber über Luft erhalten, ſo lange keine Erſchütterung eintritt.

215. Ein ſchwimmender Körper kann ſich in eine Flüſſigkeit, deren ſpec. Gewicht größer iſt als ſein eigenes, nur zum Theil eintauchen. Iſt V das Volum eines ſolchen Körpers, P ſein abſolutes, S ſein ſpecifiſches Gewicht, ferner s das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit, welches wir größer annehmen als jenes des Körpers, v das Volum des eingetauchten Theiles des Körpers; ſo hat man (nach 35) $P = VS$, $P = vs$, mithin $VS = vs$ oder $v : V = S : s$, d. h. das Volum des eingetauchten Theiles verhält ſich zum Volum des ganzen Körpers, wie das ſpecifiſche Gewicht dieſes Körpers zu jenem der Flüſſigkeit. Wird derſelbe Körper in zwei verſchiedene Flüſſigkeiten getaucht, deren ſpec. Gewichte s und s' ſind; ſo findet man das Verhältniß der eingetauchten Theile v und v' aus $P = vs$ und $P = v's'$, woraus man bekommt $vs = v's'$ und $v : v' = s' : s$, d. h. die in verſchiedene Flüſſigkeiten eingetauchten Theile eines Körpers verhalten ſich verkehrt, wie die ſpecifiſchen Gewichte dieſer Flüſſigkeiten. Sollen zwei Körper, deren abſolute Gewichte P und P' ſind, in zwei Flüſſigkeiten vom ſpec. Gewichte s und s' ſich um den Theil v eintauchen; ſo hat man $P = vs$,

$P' = vs'$, $P : P' = s : s'$, d. h. die abſoluten Gewichte verhalten ſich wie die ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeiten. Es iſt aus 35 klar, daß man ſtatt des Verhältniſſes der ſpecifiſchen Gewichte jenes der Dichten ſetzen kann, und daß daher die hier betrachteten Rauminhalte in derſelben Beziehung zu den Dichten, wie zu den ſpecifiſchen Gewichten ſtehen.

216. Körper, die in ihrem natürlichen Zuſtande ſpecifiſch ſchwerer ſind als eine gegebene Flüſſigkeit, können in ihr zum Schwimmen gebracht werden, wenn man ſie ſo ſehr verkleinert, daß ſie den Widerſtand der Flüſſigkeit nicht überwinden können, oder wenn man ſie aushöhlt oder mit andern Körpern verbindet, die ſpecifiſch leichter ſind als jene Flüſſigkeit. Hierauf beruhen: das Schwimmen kleiner Erdtheile im Waſſer, die Einrichtung unſerer Schiffe, Schwimmgürtel, Rettungsboote, das Schwimmen leerer Fäſſer, die Möglichkeit aus ihnen Brücken zu bauen oder verſunkene Waaren aus dem Waſſer zu heben, das Schwimmen der Fiſche, der karteſianiſche Taucher u. ſ. w.

Iſt z. B. A ein kugelförmiger Körper vom Halbmeſſer R, deſſen ſpecifiſches Gewicht S größer iſt als das des Waſſers σ; ſo kann man leicht finden, wie groß der kugelförmige Theil ſeiner Maſſe iſt, der von innen weggenommen werden muß, damit der Körper im Waſſer ſchwimme; denn das Gewicht dieſes Körpers iſt $\frac{4}{3}\pi R^3 S$, jenes des Waſſers unter demſelben Volum $\frac{4}{3}\pi R^3 \sigma$, wenn π das bekannte Kreisverhältniß bedeutet. Heißt nun der Halbmeſſer der wegzunehmenden Maſſe r, mithin $\frac{4}{3}\pi r^3 S$ das Gewicht derſelben, ſo wird obige Kugel ſchwimmen, wenn man hat:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 S - \frac{4}{3}\pi r^3 S = \frac{4}{3}\pi R^3 \sigma \text{ oder } r = R\sqrt[3]{\left(\frac{S-\sigma}{S}\right)}.$$

Soll ein Körper ſtatt durch Aushöhlen durch Verbindung mit einem ſpecifiſch leichteren zum Schwimmen gebracht und das nöthige Gewicht des letzteren beſtimmt werden; ſo nenne man ſein abſolutes Gewicht P, ſein ſpecifiſches S; eben dieſe Bedeutung mögen p und s für den ſpecifiſch leichteren haben, während σ das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers bedeutet. Da der Körper ſchwimmen wird, wenn ſein Gewicht ſammt der Zugabe dem Gewichte des verdrängten Waſſers gleich iſt; ſo hat man:

$$\left(\frac{P}{S}+\frac{p}{s}\right)\sigma = P + p, \text{ mithin } p = \frac{Ps\,(S-\sigma)}{S\,(\sigma-s)}.$$

Man kann in dieſen Formeln ſtatt der ſpecifiſchen Gewichte auch die Dichten ſetzen; denn da ſich dieſe Gewichte im Zähler und Nenner gleich oft vorfinden, ſo kommt es hier nicht auf die abſoluten Werthe, ſondern nur auf die Verhältniſſe derſelben an, die für die Dichten und ſpec. Gewichte wieder gleich ſind.

Mit dem erwähnten Schwimmen muß man ja nicht das künſtliche des Menſchen verwechſeln. Dieſes iſt ein beſtändiges Wehren gegen das Unterſinken mittelſt der Hände und Füße. Der Schwimmer ſtemmt ſich mit den flachen Händen und mit den Fußſohlen gegen das Waſſer, indem er erſtere ſchnell abwärts bewegt und letztere ſchnell ausſtreckt, hierauf beide zurückzieht, indem er mit der kleineren Fläche das Waſſer durchſchneidet. Verengung der Bruſthöhle durch Ausathmen, Hervorſtrecken der Hände aus dem Waſſer befördert das Sinken. Je größer der eingetauchte Theil des Körpers iſt, deſto leichter geht das

Schwimmen von Statten; dieß zeigt das Schwimmen auf dem Rücken. (Die Kunſt zu ſchwimmen von Oronzio di Bernardi. Weimar 1799.)

F. Hydroſtatiſche Beſtimmung der ſpecifiſchen Gewichte und der Dichten feſter und tropfbarer Körper.

217. Könnte man Rauminhalte ſo leicht mit Genauigkeit meſſen, wie man die Gewichte der Körper findet, ſo wäre zur Beſtimmung der ſpecifiſchen Gewichte kein beſonderes Verfahren nöthig, man erhielte das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers unmittelbar durch Diviſion ſeines abſoluten Gewichtes mit ſeinem Volum. Allein da das Volum eines Körpers, der keine regelmäßige Geſtalt beſitzt, auf directem Wege, d. i. durch wirkliche Meſſung, nicht mit hinreichender Genauigkeit gefunden werden kann, ſo ſucht man lieber die Dichte des Körpers und multiplicirt ſelbe mit dem ſpecifiſchen Gewichte des Waſſers, wodurch man das ſpecifiſche Gewicht des Körpers erhält. Es tritt daher die Nothwendigkeit einer directen Volumsbeſtimmung lediglich bei der Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes des Waſſers ein. Der im Vorhergehenden bewieſene Lehrſatz geſtattet das Gewicht des Waſſers unter einem gemeſſenen Volum auf einem leichteren und ſicheren Wege zu bekommen, als durch die in 36 in Anwendung gebrachte Abwägung eines mit Waſſer gefüllten Gefäßes. Es läßt ſich nämlich das Volum eines ſoliden feſten Körpers von regelmäßiger Figur bequemer und ſchärfer meſſen, als der Rauminhalt eines Gefäßes. Verſenkt man daher einen metallenen Cylinder, deſſen Volum v genau ausgemittelt worden iſt, in Waſſer und ſucht den Gewichtsverluſt p, den er darin erleidet, ſo hat man dadurch zugleich das Gewicht des Waſſers, welches das Volum des Cylinders ausfüllt, aus welchen Größen ſich das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers nach der Formel $s = \frac{p}{v}$ ergibt.

218. Die Dichte tropfbarer und feſter Körper erhält man auf hydroſtatiſchem Wege entweder mittelſt der ſogenannten hydroſtatiſchen Wage oder mittelſt der Aräometer.

Die hydroſtatiſche Wage unterſcheidet ſich von einer gewöhnlichen Schalwage nur durch ihre größere Empfindlichkeit und Genauigkeit, und es kann jede gute Wage dieſer Art ſogleich in eine hydroſtatiſche umgeſtaltet werden, wenn man ihr an einer Seite eine kürzer aufgehängte Schale gibt, die unten einen Haken trägt, woran mittelſt eines feinen Drahtes nach Bedürfniß ein feſter Körper, in der Regel ein ſolider Glastropfen oder ein Glasſchälchen aufgehängt wird, um dieſe Gegenſtände während des Gebrauches der Wage nach Umſtänden in Waſſer oder in eine andere Flüſſigkeit zu verſenken, und die dadurch entſtehende Gewichtsdifferenz zu finden. Hierzu gehört noch ein zum Höher- und Niedrigerſtellen eingerichteter Träger für das Gefäß, worin ſich dieſe Flüſſigkeit befindet, allenfalls noch eine gleichfalls mit einem Drahte zum Aufhängen verſehene Zange, um feſte Körper darin einzuſpannen u. dgl.

Die erſte Idee der hydroſtatiſchen Wage und ihres Gebrauches gehört Galilei.

219. Handelt es ſich nun um die Beſtimmung der Dichte einer tropfbaren Flüſſigkeit, ſo wäge man einen feſten Körper, deſſen Gewichtsverluſt p in reinem Waſſer man kennt, in der zu unterſuchenden Flüſſigkeit ſorgfältig ab, und beſtimme den darin erlittenen Gewichtsverluſt q. Nennt man die geſuchte Dichte D, ſo hat man $D : 1 = q : p$ und hieraus $D = \frac{q}{p}$. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der eingetauchte Körper weder im Waſſer, noch in der zu prüfenden Flüſſigkeit auflöslich ſeyn darf, und daß er ſich in beide ganz einſenken muß. In den meiſten Fällen reicht man mit dem vorerwähnten Glastropfen aus, nur bei der Unterſuchung der Flußſäure (die Glas angreift), muß man zu einer ſilbernen oder bleiernen Maſſe ſeine Zuflucht nehmen.

Statt des vorhergehenden Verfahrens kann man auch das folgende gleichfalls hydroſtatiſche wählen: Man bringe die zu unterſuchende Flüſſigkeit in einen Arm eines communicirenden Gefäßes, und Waſſer in den andern, trenne, wenn ſie ſich etwa mit einander zu miſchen geneigt ſind, beide von einander durch eine dritte, gegen beide indifferente Flüſſigkeit, und meſſe die Höhe der zwei Säulen, wenn das Gleichgewicht hergeſtellt iſt. Dieſe verhalten ſich verkehrt wie die Dichten der Flüſſigkeiten (207). Doch gewährt dieſes Verfahren bei weitem nicht die Genauigkeit des obigen Daß dieſes Verfahren auch dazu dienen kann, die Ausdehnung tropfbarer Flüſſigkeiten durch die Wärme kennen zu lernen, iſt bereits geſagt (189).

220. Um die Dichte eines feſten Körpers zu finden, ſucht man ſein abſolutes Gewicht P und ſeinen Gewichtsverluſt p im Waſſer, oder wenn dieſes ihn angreift, in einer andern Flüſſigkeit, deren Dichte d man beſtimmt hat. Im erſten Falle iſt die Dichte D des Körpers nach der Formel $D = \frac{P}{p}$, im zweiten nach der Formel $D = \frac{P}{p} . d$ zu berechnen. Der Grund des Verfahrens liegt darin, daß man hier das Gewicht des Körpers und jenes der Flüſſigkeit unter demſelben Rauminhalte mit einander vergleicht. Gepulverte Körper wägt man auf einer gläſernen Schale, deren Gewicht und Gewichtsverluſt in einer gegebenen Flüſſigkeit ſchon vorläufig bekannt ſind. Sollte der Körper ſpecifiſch leichter ſeyn als die Flüſſigkeit, in der man ihn abwägen will; ſo ſpannt man ihn in eine Zange ein und wägt ihn ſammt derſelben in der Flüſſigkeit, ſchlägt aber nach der Hand vom geſammten Gewichtsverluſte jenen der Zange ab.

Daß man bei der Anwendung der hydroſtatiſchen Wage auf den Gewichtsverluſt des Drahtes, auf die Temperatur des zu unterſuchenden und des Hilfskörpers Rückſicht nehmen, und überhaupt die in 143 empfohlene Abwägungsmethode anwenden müſſe, wenn die Reſultate genau ſeyn ſollen, verſteht ſich von ſelbſt.

221. Es ſind zwei Arten von Aräometern im Gebrauche, nämlich Aräometer mit Scalen, deren Gewicht ſtets unverändert

bleibt, und Aräometer mit Gewichten, deren Belaſtung nach Bedürfniß geändert wird. Erſtere dienen bloß zur Beſtimmung der Dichten tropfbarer Körper; letztere eignen ſich auch für feſte Körper. Beide Arten beruhen auf den in 215 vorgetragenen Sätzen.

222. Ein Scalen-Aräometer iſt eine cylindriſche, am unteren Theile zuweilen in eine Erweiterung ausgehende geſchloſſene Röhre (Fig. 60), am beſten von Glas, welche unten ſo belaſtet iſt, daß ſie im Waſſer mit Stabilität ſchwimmt. Taucht man ſelbe in eine andere Flüſſigkeit, ſo wird ſie ſich weniger oder mehr einſenken als im Waſſer, je nachdem die Flüſſigkeit dichter oder weniger dicht iſt als letzteres. Es läßt ſich an dem Inſtrumente eine Scale ſo anbringen, daß der an der Oberfläche der Flüſſigkeit erſcheinende Theilſtrich die Dichte der Flüſſigkeit anzeigt. Dieſe Scale iſt gewöhnlich auf zwei Inſtrumente vertheilt, wovon eines für ſchwere, das andere für leichte Flüſſigkeiten dient. Bei erſterem entſpricht der Dichte des Waſſers der höchſte, bei dem letzteren der tiefſte Punct der Scale. Wo man eine große Schärfe des Reſultates wünſcht, da ſind dieſe Inſtrumente freilich nicht zu empfehlen; wo man aber mit einer mäßigen Genauigkeit zufrieden iſt, da ſind ſie äußerſt bequem. Sie dienen aber nebſtdem noch zu einem andern Zwecke. Nämlich die Dichte vieler gemiſchten Flüſſigkeiten, z. B. des Weingeiſtes, der Säuren ꝛc. ändert ſich mit der Menge eines oder des andern Beſtandtheiles ſo, daß man, wenn einmal für ein Miſchungsverhältniß die Dichte durch vorläufige Erfahrungen gefunden iſt, in Zukunft umgekehrt von dieſer Dichte auf das Miſchungsverhältniß ſchließen und die Aräometer ſo einrichten kann, daß die Scale ſtatt der Dichte die verhältnißmäßige Menge eines oder des andern Beſtandtheiles anzeigt. Man heißt ſolche Aräometer Procenten-Aräometer oder nach Verſchiedenheit der Flüſſigkeit, für welche ſie beſtimmt ſind, Weingeiſt-, Salpeterſäure-Aräometer u. ſ. w.

Bei der Verfertigung eines ſolchen Aräometers wird z B. die bleibende Belaſtung des Inſtrumentes ausgemittelt, wobei dasſelbe einſtweilen eine proviſoriſche Scale erhält. Man ändert nun die Belaſtung ſo, daß ſich das Inſtrument im Waſſer ſo weit einſenkt, als es ſich ohne Aenderung der Belaſtung, alſo in ſeinem normalen Zuſtande, in eine Flüſſigkeit von gegebener Dichte eingeſenkt hätte, und bemerkt, bis zu welchem Theilſtriche der proviſoriſchen Scale die Einſenkung erfolgt. Dieſen Theilſtrich überträgt man ſodann mit der gehörigen Bezeichnung auf die bleibende Scale. So beſtimmt man ſich ſo viele Puncte der Scale, daß man, ohne der Genauigkeit Abbruch zu thun, die Zwiſchenſtellen durch Theilung in gleiche Theile ausfüllen kann. Am Schluſſe wird die gehörige Belaſtung des Aräometers wieder hergeſtellt. Um aber die Aenderung x der Belaſtung des Aräometers zu finden, mit deren Hülfe es ſich im Waſſer ſo ſtellt, wie es im normalen Zuſtande in einer Flüſſigkeit von der Dichte D ſtehen würde, ſey P das vorläufig durch wirkliche Wägung ausgemittelte bleibende Gewicht des Aräometers. Man ſieht leicht, daß wenn das Aräometer, während es das Gewicht $P+x$ hat, ſich im Waſſer ſo weit eintaucht,

als mit dem Gewichte P in einer Flüſſigkeit von der Dichte D, nothwendig erſteres Gewicht jenes des Waſſers, das andere jenes der Flüſſigkeit unter einerlei Volum, nämlich unter dem Volum des eingetauchten Theiles angibt; das Verhältniß dieſer Gewichte iſt alſo zugleich das Verhältniß der Dichten beider Flüſſigkeiten, und daher beſteht die Proportion: $P + x : P = 1 : D$, woraus $P + x = \frac{P}{D}$ und $x = P\left(\frac{1}{D} - 1\right)$ folgt. Hier fällt x poſitiv oder negativ aus, je nachdem $D < 1$ oder $D > 1$ iſt, mithin iſt im erſten Falle eine Gewichtsvermehrung, im andern eine Gewichtsverminderung des Aräometers vorzunehmen, was ſchon für ſich klar iſt. Auf das hier Geſagte läßt ſich auch ein einfaches Verfahren gründen, die Richtigkeit der Scale jedes fertigen Aräometers zu prüfen Je empfindlicher ein Aräometer iſt, ein deſto größeres Volum nimmt es ein; meiſtens reicht die Scale eines Inſtrumentes für leichte Flüſſigkeiten von 0.700 bis 1.000, für ſchwere von 1.000 bis 2.000; nur durch beſondere Kunſtgriffe kann man in einem Inſtrumente beide Scalen vereinigen, ohne ſeiner Empfindlichkeit Abbruch zu thun. (Zeitſchr. neue Folge 2. 38.)

Die Erfindung der Scalenaräometer wird Archimedes zugeſchrieben; bereits im ſechzehnten Jahrhundert hatte man in Deutſchland Salzſpindeln im Gebrauche; in der zweiten Hälfte des ſiebzehnten Jahrhunderts gab Boyle den Aräometern eine beſſere Einrichtung. Die oben angedeutete einfache Methode zur Anfertigung der Scale aber hat erſt in dem letzten Drittheil des vorigen Jahrhunderts Briſſon gelehrt.

Man trifft häufig Aräometer, welche weder die Dichte, noch ein beſtimmtes Miſchungsverhältniß unmittelbar angeben, ſondern deren Scalen in meiſtens willkürliche Grade eingetheilt ſind, wie jene von Beck, Cartier ꝛc. Unter allen Inſtrumenten dieſer Art haben die von Beaumé den meiſten Zuſpruch erhalten; es iſt daher nothwendig anzugeben, wie Beaumé ſeine Scale beſtimmte. Dieſes geſchah auf zweifache Art, je nachdem er das Inſtrument für Flüſſigkeiten anwenden wollte, die ſpecifiſch leichter oder ſchwerer ſind als Waſſer. Um die Scale für erſtere zu erhalten, tauchte er ein Gefäß, wie Fig. 60, deſſen Spindel a b durchaus gleich dick war, in eine Auflöſung von 10 Th. Kochſalz in 90 Th. Waſſer, und fand ſo den unterſten Punct der Scale, hierauf in deſtillirtes Waſſer, um den zweiten höher liegenden Punct der Scale zu finden; den Zwiſchenraum theilte er in 10 gleiche Theile und ſetzte dieſe Eintheilung bis zum Ende der Röhre fort. Den Punct des deſtillirten Waſſers bezeichnete er mit 10, und zählte von da auf- und abwärts, ſo weit es die Spindel des Aräometers erlaubte. Um die Scale für ſpecifiſch ſchwerere Flüſſigkeiten zu beſtimmen, tauchte er das Inſtrument in deſtillirtes Waſſer, fand ſo den oberſten Punct, hierauf in eine Auflöſung von 15 Theilen Kochſalz und 85 Theilen Waſſer, theilte den Abſtand dieſer zwei Puncte in 15 gleiche Theile, ſetzte zu jenem 0, und übertrug dieſe Eintheilung auf die ganze Spindel. Man ſieht leicht ein, daß dieſe Inſtrumente gar keinen wiſſenſchaftlichen Werth haben, jedoch kann man mittelſt einer Tafel die Beaumé'ſchen Grade in Dichten verwandeln. Da Beaumé's Aräometer noch häufig gebraucht werden, ſo wird hier eine Tabelle angeſchloſſen, aus der man die jedem Grade eines ſolchen Inſtrumentes entſprechende Dichte entnehmen kann.

1. Für Flüſſigkeiten dichter als Waſſer.

Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.
0	1.000	19	1.152	38	1.359	57	1.659
1	1.007	20	1.162	39	1.372	58	1 678
2	1.014	21	1.171	40	1.384	59	1.698
3	1.022	22	1.180	41	1.398	60	1.718
4	1.029	23	1.190	42	1.412	61	1.739
5	1.036	24	1,199	43	1.426	62	1.760
6	1.044	25	1.210	44	1.440	63	1.782
7	1.052	26	1.221	45	1.454	64	1.804
8	1.060	27	1.231	46	1.470	65	1.827
9	1.067	28	1.242	47	1.485	66	1.850
10	1.075	29	1.252	48	1.501	67	1.874
11	1.083	30	1.261	49	1.516	68	1.898
12	1.091	31	1.275	50	1.532	69	1.922
13	1.100	32	1.286	51	1.549	70	1.947
14	1.106	33	1.298	52	1.566	71	1.973
15	1.116	34	1.309	53	1.583	72	2.000
16	1.125	35	1.321	54	1.601		
17	1.134	36	1.334	55	1.618		
18	1.143	37	1.346	56	1.638		

2. Für Flüſſigkeiten leichter als Waſſer.

Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.
10	1.000	23	0.915	36	0.844	49	0,782
11	0.993	24	0.909	37	0.838	50	0.778
12	0.986	25	0.903	38	0.833	51	0.773
13	0.979	26	0.898	39	0.829	52	0.769
14	0.972	27	0.892	40	0.824	53	0.765
15	0.966	28	0.886	41	0.819	54	0.760
16	0.959	29	0.881	42	0.814	55	0.756
17	0.952	30	0.875	43	0.809	56	0.752
18	0.946	31	0.870	44	0.802	57	0.748
19	0.940	32	0.864	45	0.800	58	0.744
20	0.933	33	0.859	46	0.796	59	0.739
21	0.927	34	0.854	47	0.791	60	0.735
22	0.921	35	0.849	48	0.787		

223. Aräometer mit Gewichten, von ihrem Erfinder Fahrenheit, auch Fahrenheit'ſche genannt, unterſcheiden ſich von den Scalenaräometern dadurch, daß ſie am oberen Ende eine Scale zur Auflegung der Gewichte, und an ihrem ſehr dünnen Halſe einen feinen Strich haben, bis zu welchem ſie ſich in jede zu unterſuchende Flüſſigkeit einſenken müſſen. Beim Gebrauche muß man ein- für allemal wiſſen, wie viel das Inſtrument ſelbſt wiegt und wie viel Gewicht man noch zulegen muß, damit die Einſenkung in reinem Waſſer bis zum Zeichen am Halſe erfolge. Es ſey jenes P, dieſes p. Will

man die Dichte D einer Flüſſigkeit finden, ſo ſenkt man das Inſtrument darein und legt ſo lange Gewichte zu, bis die Einſenkung gehörig weit geſchieht. Heißt dieſes Gewicht p′, ſo iſt

$$D = \frac{P + p'}{P + p}, \text{ weil } P + p : P + p' = 1 : D \text{ iſt.}$$

Nicholſon erweiterte den Gebrauch dieſes Inſtrumentes dadurch, daß er es unten mit einer Schale verſah (Fig. 61 a). Mohs brachte dieſe Schale mit Vortheil unmittelbar unter dem Halſe an (Fig. 61 b). Ein ſo eingerichtetes Aräometer kann man auch zur Beſtimmung der Dichte feſter Körper brauchen, deren Gewicht das Aufleggewicht p nicht übertrifft. Senkt man nämlich das Inſtrument in reines Waſſer, legt anfangs den zu unterſuchenden Körper A ſammt ſo viel Gewicht, als zur gehörigen Einſenkung nöthig iſt, auf die obere Schale, nimmt dann A weg und ſetzt dafür Gewichte zu; ſo weiß man das abſolute Gewicht von A. Nimmt man nun die zuletzt aufgelegten Gewichte wieder weg, legt A in die untere, im Waſſer befindliche Schale; ſo werden die Gewichte, die zur gehörigen Einſenkung des Inſtrumentes nöthig ſind, den Gewichtsverluſt von A im Waſſer anzeigen. Aus dem abſoluten Gewichte und dem Gewichtsverluſte im Waſſer findet man mittelſt Diviſion des erſteren durch letzteren die Dichte.

Ueber Aräometer ſiehe: Meißner's Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. Wien 1816. Baumgartner's Aräometrie für Chemiſten und Technologen. Wien 1820 Ungemein ausführlich handelt über Aräometrie das Repertorium für die Chemie als Wiſſenſchaft und Kunſt von Brandes. Hannover 1827. 2. Bd. I. Abth. S. 552—630; wohl auch Gehler's phyſ. Wörterbuch neu bearbeitet, und Liebig's und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie. Braunſchweig 1837.

224. Obgleich die einem ſtreng wiſſenſchaftlichen Gange am meiſten zuſagende Annahme der Einheit der Dichten diejenige zu ſeyn ſcheint, welche in 35 angegeben wurde, nämlich die Dichte des Waſſers in ſeinem dichteſten Zuſtande; ſo geht man doch häufig davon ab und hält es für bequemer, die Dichte des Waſſers bei 0° C., in ſo fern es noch in vollkommen flüſſigem Zuſtande ſich befindet, als Einheit der Dichten gelten zu laſſen. Folgende Tabelle bezieht ſich auf die letztgenannte Einheit. Ein Wiener Kubikzoll Waſſer wiegt bei 0° C. 250,537 W. Gran.

Tafel der Dichte einiger Körper.

Platin geprägt	21,343	Silber gehämmert	10,511
» gehämmert	21,314	» gegoſſen	10,474
Platindraht	19,267	Wismuth gegoſſen	9,822
Platinſand	15,601	Kupfer gehämmert	9,000
Gold gehämmert	19,361	Kupferdraht	8,878
» gegoſſen	19,258	Zinn, engliſches, gegoſſen	7,921
Queckſilber gefroren	15,612	Stahl	7,810—7,833
» bei 0° R.	13,598	Schmiedeeiſen	7,787
Blei	11,352	Roheiſen	7,207—7,250

Zink gehämmert	7,861	Pflaumenholz	0,785
» gegoſſen	7,190	Birnbaumholz	0,755
Saphir blau	3,909	Lindenholz	0,604
Zirkon	4,416	Korkholz	0,240
Hyacinth	4,505	Alkohol	0,791
Topas	3,499	Schwefeläther	0,717
Granat edler	4,098—4,208	Bor	1,480
» gemeiner	3,769	Phosphor	1,770—1,821
Smaragd	2,678—2,775	Schwefel	2,072
Bergkryſtall	2,650—2,670	Selen	4,300
Glimmer	2,654—2,985	Jod	4,948
Lava	2,795—2,823	Flußſäure	1,061
Serpentin	2,560—2,684	Salzſäure conc.	1,200
Kreide	1,797	Chlorſäure	1,300
Perlen	2,750	Salpeterſäure	1,522
Spiegelglas	2,370—2,450	Schwefelſäure	1,850
Flintglas	3,15 —3,329	Phosphorſäure	2,687
Eis	0,885	Ammoniak flüſſ.	0,875
Buxbaumholz	1,33	Kalihydrat	1,708
Mahagonyholz	1,06	Natrumhydrat	1,536

Ueber Dichtigkeit der Miſchungen ſiehe Kopp über die Modificationen der mittleren Eigenſchaft. Frankfurt a. M. 1841. S. 63.

225. Da ſich die Dichte des Waſſers mit der Temperatur ändert, ſo iſt es bei genauer Beſtimmung der Dichten und ſpecifiſchen Gewichte der Körper unerläßlich, die Dichte und das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers bei den möglicher Weiſe vorkommenden Temperaturen zu kennen. Folgende Tabelle ſtellt die von Prof. Stampfer nach der in 189 angedeuteten Methode aus ſehr genauen Wägungen erhaltenen Reſultate dar.

Dichte und ſpecifiſches Gewicht des Waſſers.

Temperatur nach Reaum.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden
— 3	1.000463	0.999537	1.043539	56.3511
2	1.000319	0.999681	1.043689	56.3592
1	1.000203	0.999797	1.043810	56.3658
0	1.000113	0.999887	1.043904	56.3708
+ 1	1.000050	0.999950	1.043970	56.3744
2	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
3	1.000000	1.000000	1.044023	56.3772
4	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
5	1.000047	0.999952	1.043972	56.3745
6	1.000106	0.999894	1.043911	56.3712
7	1.000187	0.999813	1.043827	56.3667
8	1.000289	0.999711	1.043720	56.3610
9	1.000413	0.999587	1.043591	56.3540
10	1.000558	0.999442	1.043440	56.3458
11	1.000723	0.999278	1.043268	56.3365
12	1.000906	0.999095	1.043077	56.3262

Temperatur nach Reaum.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden.
13	1.001108	0.998893	1.042866	56.3148
14	1.001329	0.998673	1.042636	56.3024
15	1.001567	0.998435	1.042388	56.2890
16	1.001822	0.998180	1.042122	56.2746
17	1.002095	0.997907	1.041839	56.2593
18	1.002384	0.997622	1.041539	56.2431
19	1.002687	0.997320	1.041223	56.2261
20	1.003005	0.997003	1.040893	56.2083
21	1.003338	0.996673	1.040549	56.1897
22	1.003685	0.996329	1.040190	56.1703
23	1.004045	0.995971	1.039816	56.1501
24	1.004418	0.995601	1.039429	56.1292
25	1.004804	0.995219	1.039031	56.1077
26	1.005202	0.994825	1.038620	56.0855
27	1.005612	0.994420	1.038197	56.0627
28	1.006032	0.994004	1.037763	56.0392
29	1.006462	0.993579	1.037319	56.0152
30	1.006902	0.993145	1.036865	55.9907
31	1.007353	0.992701	1.036402	55.9657
32	1.007813	0.992247	1.035928	55.9401

G. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer tropfbarer Körper mit Rückſicht auf Molecularkräfte.

226. Es kommen unter den Erſcheinungen des Gleichgewichts tropfbarer Flüſſigkeiten ſolche vor, die als Abweichungen von den aus der Schwere abgeleiteten Geſetzen betrachtet werden müſſen. Nach den Gleichgewichtsgeſetzen ſchwerer Flüſſigkeiten ſoll ein tropfbarer Körper in beiden Armen eines communicirenden Gefäßes gleich hoch ſtehen. Taucht man aber ein enges Röhrchen in Waſſer, ſo erhebt dieſes ſich im Röhrchen und ſteht zuletzt, wenn die Rohrwand gehörig naß geworden iſt, bedeutend über der Oberfläche der Flüſſigkeit außerhalb des Rohres und zwar um deſto höher, je geringer der Durchmeſſer des Rohres iſt. Aehnliches zeigen auch andere Flüſſigkeiten, die das Rohr benetzen. Wird aber die innere Rohrwand von der Flüſſigkeit nicht benetzt, wie dieſes zwiſchen reinem Glas und Queckſilber oder auch zwiſchen dem mit einer Fettſchichte überzogenen Glas und Waſſer der Fall iſt; ſo hat die innere Flüſſigkeit einen um ſo tiefern Stand unter der äußeren Oberfläche, je enger das Rohr iſt. Ein anderes Gleichgewichtsgeſetz ſchwerer Flüſſigkeiten verlangt, daß die Oberfläche derſelben horizontal und bei nicht ſehr großen Gefäßen eben ſey. Aber auch dieſem widerſpricht das Verhalten von Flüſſigkeiten in engen Gefäßen. Solche, welche das Gefäß benetzen, haben immer eine concave, ſolche, die dieſes nicht thun, eine convere Oberfläche, ja ſelbſt wenn ein Gefäß groß genug iſt, um nicht die ganze Oberfläche gekrümmt erſcheinen zu laſſen und dieſelbe in einiger Entfernung von der Gefäßwand eben iſt; ſo zieht ſie ſich an dieſer Wand deutlich in die Höhe,

wenn ſie das Material des Gefäßes benetzt, und erſcheint deutlich abwärts gebogen, wenn keine Benetzung Statt findet. Dieſe Erſcheinungen zeigen deutlich, daß hier außer der Schwere noch Wirkungen anderer Kräfte ſich bemerkbar machen. Ihr inniger Zuſammenhang mit der Adhäſion der Flüſſigkeit an die Materie des Gefäßes deutet auf eine Einwirkung dieſer Materie auf die Flüſſigkeit und der Umſtand, daß auch nicht an das Gefäß adhärirende Flüſſigkeiten von den durch die Schwere bedingten Gleichgewichtsgeſetzen abweichen, weiſet darauf hin, daß die Action der flüſſigen Theile auf ſich ſelbſt hier im Spiele ſey. Man nennt alle derartigen Erſcheinungen Capillaritätsphänomene, weil ſie mit dem Verhalten der Flüſſigkeiten in engen Röhrchen von einerlei Natur ſind und man dieſe Röhrchen Haarröhrchen (tubos capillares) nennt, wenn auch der Durchmeſſer ihrer Bohrung die Dicke eines Haares weit übertrifft.

227. Um die Kräfte näher kennen zu lernen, welche das Verhalten einer Flüſſigkeit in einem Haarröhrchen beſtimmen, ſey ACDB (Fig. 62) der Durchſchnitt eines in Waſſer vertical ſtehenden cylindriſchen oder prismatiſchen Haarröhrchen, MN die ebene Oberfläche des äußeren Waſſers und AB die Oberfläche der im Röhrchen gehobenen Waſſerſäule. Da dieſe mit dem übrigen Waſſer im Gleichgewichte ſteht, ſo muß auch, wenn man ſich einen von dem unteren Ende CD des Rohres nach abwärts gehenden, dann horizontal und endlich aufwärts ſich wendenden und bis an die Waſſerfläche in GH reichenden Canal von gleichem Querſchnitt mit dem Rohre vorſtellt, deſſen Wände aus Waſſer beſtehen und der mit Waſſer gefüllt iſt, in der ganzen Waſſermaſſe im Rohr und Canale für ſich Gleichgewicht herrſchen. Die Schwerkräfte, die auf das unter der Ebene MN befindliche Stück dieſer Waſſermaſſe wirken, heben ſich nach 205 auf, und es bleibt nur noch das Gewicht der über MN im Rohre vorhandenen Waſſerſäule AEFB zu betrachten übrig, welches durch die Geſammtwirkung der hier thätigen Molecularkräfte getragen wird. Dieſe Kräfte wirken auf eine unmeßbar kleine Entfernung, denn ſchon die dünnſte Fettſchichte hebt die Wirkung einer Glaswand auf Waſſer auf und die Dicke eines Röhrchens hat darauf gar keinen Einfluß. Man kann ſich daher vorſtellen, daß von dem Rohre unmittelbar nur eine an der inneren Wand anliegende Waſſerröhre von äußerſt geringer Wanddicke gehalten werde, welche wieder eine zweite in ihr ſteckende concentriſche Waſſerröhre hält, an der wieder eben ſo eine dritte hängt u. ſ. w., ſo daß alſo das Rohr nur mittelſt dieſer Zwiſchenkräfte die geſammte Waſſerſäule AEFB trägt. Die Kräfte, welche dieſe Säule aufwärts ziehen, ſind: 1) die Anziehung, welche die ober AB befindliche Röhrenwand auf die angrenzenden Waſſertheilchen ausübt; ſie heiße P. 2) Die Anziehung, welche das untere Ende CD des Rohres auf die unter ihm ſtehende Waſſerſäule ausübt und die ſich durch das übrige Waſſer bis zur Säule AEFB fortpflanzt. Sie hat offenbar denſelben Werth P. Dagegen wird dieſe Säule abwärts gezogen: 1) durch ihr Gewicht Q; 2) durch die Anziehung, welche die unterhalb

CD befindliche Waſſerwand, welche gleichſam die Fortſetzung der inneren Röhrenwand iſt, gegen die über ihr ſtehende Säule äußert, und welche P′ heißen mag. Alle übrigen noch vorhandenen Anziehungen heben ſich gegenſeitig auf. So kann z. B. der Theil ACDB des Rohres gegen das in ihm eingeſchloſſene Waſſer keine hebende oder hinabdrückende Kraft ausüben; denn es iſt kein Grund vorhanden, warum eher die eine als die andere Wirkung obwalten ſollte. Ein Gleiches gilt auch von der Einwirkung der die Begrenzung des Canals CDHG bildenden Waſſermaſſe auf das eingeſchloſſene Waſſer. Das Gleichgewicht der Waſſerſäule AEFB wird alſo durch das Stattfinden der Gleichung

$$P + P = Q + P' \text{ oder } 2P - P' = Q$$

bedingt. Man kann die Kraft P als die Summe der Anziehungen betrachten, welche von unendlich vielen, unendlich ſchmalen Verticalſtreifen, in die ſich die innere Röhrenwand zerlegen läßt, auf das anliegende Waſſer ausgehen, folglich jene Kraft dem Umfange des horizontalen Querſchnittes dieſer Wand proportional ſetzen, und ein Gleiches läßt ſich auch von P′ annehmen. Iſt nun c der Umfang des genannten Querſchnittes, ſo kann man $P = pc$, $P' = p'c$ ſetzen, wobei p, p′ Factoren ſind, wovon erſtere die Anziehung der Materie des Rohres zur Flüſſigkeit, letztere die der Flüſſigkeitstheile zu ſich ſelbſt bedeutet. Nennen wir ferner den Flächeninhalt dieſes Querſchnittes a, die Höhe, welche die Säule EFBA haben würde, wenn ſie ohne Aenderung ihrer Maſſe eine ebene Oberfläche bei AB hätte, h, und das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers s; ſo iſt das Gewicht der Säule AEFB, das vorher mit Q bezeichnet wurde $= ahs$. Obige Gleichung gibt daher

$$(2p - p')c = ahs, \text{ woraus } h = \frac{2p - p'}{s} \cdot \frac{c}{a}$$

folgt. Dieſer Ausdruck paßt offenbar auch für jeden anderen tropfbaren Körper an der Stelle des Waſſers, wenn unter s das ſpecifiſche Gewicht des erſteren verſtanden wird. Man ſieht aus der hier für die Höhe h der Flüſſigkeitsſäule im Haarröhrchen gefundenen Formel, daß dieſelbe nur dann einen poſitiven Werth erhält, alſo wirklich ein Aufſteigen der Flüſſigkeit über ihre Oberfläche außerhalb des Rohres obwaltet, wenn $2p > p'$ iſt, d. h. wenn die Anziehung der Flüſſigkeitstheile unter einander weniger beträgt, als das Doppelte der Anziehung des Rohres gegen dieſe Theilchen. Wäre $2p = p'$, alſo erſtere Anziehung der doppelten letzteren gleich, ſo ergäbe ſich $h = o$, d. h. die Flüſſigkeit würde ſich ſo verhalten, als ob keine Molecularwirkung vorhanden wäre. Für den Fall, wenn $2p < p'$ iſt, d. h. wenn die Anziehung der Flüſſigkeitstheilchen unter einander die doppelte Anziehung des Rohres gegen ſelbe übertrifft, erſcheint h negativ, und es ſteht dann die Flüſſigkeit im Haarröhrchen tiefer, als außer demſelben.

228. Iſt der Querſchnitt des Rohres ein Kreis mit dem

Durchmeſſer d, ſo iſt $c = \pi d$ und $a = \frac{1}{4}\pi d^2$ alſo $\frac{c}{a} = \frac{4}{d}$ und daher, wenn man zur Abkürzung $\frac{4(2p - p')}{s} = A$ ſetzt, $h = \frac{A}{d}$. Für ein zweites ſolches Rohr von gleichem Materiale in der nämlichen Flüſſigkeit hat A denſelben Werth, mithin iſt, wenn h′, d′ Größen derſelben Art wie h, d anzeigen, $h' = \frac{A}{d'}$, alſo

$$h : h' = d' : d$$

Es verhalten ſich alſo bei übrigens gleichen Umſtänden die Längen der gehobenen oder hinabgedrückten Säulen in cylindriſchen Haarröhrchen von verſchiedener Bohrung verkehrt wie deren Durchmeſſer, was mit der Erfahrung genau übereinſtimmt, wie insbeſondere mehrere von Hauy und Tremery mit Sorgfalt angeſtellte Verſuche gezeigt haben.

Die Durchmeſſer ſolcher Röhrchen kann man ſehr ſcharf dadurch beſtimmen, daß man ſie leer abwägt, hierauf eine beliebig lange Queckſilberſäule hineinbringt, wieder ihr Gewicht beſtimmt, und ſo aus der Differenz beider Reſultate das Gewicht p der hineingebrachten Queckſilberſäule findet. Hat die Säule die Länge l, ſo iſt ihr Gewicht $\frac{1}{4}\pi d^2 l S = q$, wenn d den Durchmeſſer des Röhrchens und S das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers bedeutet. Mithin iſt

$$d = 2\sqrt{\frac{q}{\pi l S}}.$$

229. Es ſey der Querſchnitt eines prismatiſchen Röhrchens ein Rechteck und zwar b die Breite, d die Dicke des Rohres, ſo iſt $c = 2(b+d)$ und $a = bd$, mithin $\frac{c}{a} = \frac{2(b+d)}{db} = 2\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{b}\right)$, alſo wenn A die vorige Bedeutung beibehält,

$$h = \frac{1}{2} A \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{b}\right).$$

Setzt man an die Stelle eines ſolchen Rohres zwei ebene einander parallele Platten, deren Abſtand $= d$ iſt, ſo erſcheint in dieſem Ausdrucke b in Bezug auf d unendlich groß, alſo $\frac{1}{b}$ gegen $\frac{1}{d}$ unendlich klein, und es kann erſterer Bruch vernachläßiget werden. Hier wird demnach

$$h = \frac{A}{2d}.$$

Vergleicht man dieſes Reſultat mit dem für ein cylindriſches Haarröhrchen erhaltenen, ſo ſieht man, daß die Höhe der zwiſchen zwei parallelen Platten gehobenen oder hinabgedrückten Flüſſigkeitsſäule die Hälfte derjenigen iſt, die ein cylindriſches Röhrchen von gleichem Material, deſſen Dicke dem Abſtande der Platten gleich kommt, darbietet, ein Satz, der bereits von Newton als ein Ergebniß der Erfahrung bemerkt wurde.

230. Um einzuſehen, wie die Molecularkräfte der durch die Wirkung der Schwere bedingte Ebenheit die Oberfläche ſtören und ſie

in eine Convexität oder Concavität umwandeln können, ſey MN (Fig. 63) die bloß durch die Schwere beſtimmte, alſo ebene und horizontale Oberfläche der Flüſſigkeit und R S eine ſenkrechte an die Flüſſigkeit grenzende Wand. Durch die Molecularkräfte erleidet das Theilchen A eine zweifache Wirkung; dasſelbe wird nämlich durch die Wand A S in der Richtung A M gezogen und durch die zwiſchen dem Winkel S A N enthaltene Flüſſigkeit nach einer Richtung A B, welche den Winkel S A N halbirt. Die Reſultirende dieſer zwei Wirkungen beſtimmt nun die Geſtalt der Oberfläche, die ſtets auf derſelben ſenkrecht ſtehen muß. Fällt nämlich beſagte Reſultirende außerhalb des Winkels N A S, etwa nach A x, ſo muß die Oberfläche concav ſeyn, fällt ſie innerhalb dieſes Winkels nach A y, ſo muß ſie convex erſcheinen. Wann das eine oder das andere Statt findet, lehrt Nachſtehendes: Man denke ſich die nach A B wirkende Kraft in die nach A N und A S gerichteten Componenten zerlegt und ſetze erſtere mit der nach A M zielenden zuſammen. Je nachdem nur die Reſultirende dieſer nach A M oder A N wirket, muß die aus dieſer Zuſammenſetzung und der nach A S zielenden entſpringende Kraft innerhalb des Winkels M A S oder N A S fallen. Die nach A N wirkende Componente iſt aber die Hälfte jener Kraft, die in 227 mit p' bezeichnet worden iſt. Denn denkt man ſich A nicht an der Oberfläche der flüſſigen Maſſe, ſondern im Innern derſelben, ſo erfolgt von der über A N befindlichen Flüſſigkeit eben ſo eine nach A C wirkende, den Winkel R A N halbirende Kraft, wie ſich von der unter A N befindlichen, die nach A B wirkende Kraft ergeben hat. Wird die nach A C wirkende Kraft in die zwei nach A N und A R gerichteten zerlegt, ſo wird letztere durch die nach A S wirkende Componente der nach A B wirkenden aufgehoben, erſtere aber durch den Hinzutritt der zweiten Componente verdoppelt. Die nach A M zielende Wirkung der Wand auf A iſt die in 227 mit p bezeichnete. Demnach iſt die Reſultirende der zwei nach AM und AN gerichteten Kräfte gleich $p - \frac{1}{2}p'$ und dieſe fällt ſelbſt nach A N oder A M oder die Oberfläche der Flüſſigkeit iſt concav oder convex, je nachdem $p - \frac{1}{2}p'$ poſitiv oder negativ mithin $2p > p'$ oder $2p < p$ iſt. In 227 wurde gezeigt, daß es eben von dem poſitiven oder negativen Werth dieſer Größe abhängt, ob eine Flüſſigkeit in einem Haarröhrchen über das äußere Niveau ſteigen oder unter demſelben zurückbleiben werde und daß die Höhe der gehobenen oder deprimirten Säule dieſer Größe proportionirt ſey, endlich iſt klar daß der poſitive Werth der Größe $p - \frac{1}{2}p'$ eine auswärts, der negative eine einwärts ziehende Kraft bedeutet. Zugleich iſt hiemit deutlich gemacht, wie es komme, daß die über das äußere ebene Niveau in einem Harröhrchen ſteigenden Flüſſigkeiten in demſelben eine concave, die unter ſeinem Niveau zurückbleibenden eine convexe Oberfläche haben.

231. Aus dem Zuſammenhange, welcher zwiſchen der Geſtalt der Oberfläche und der Richtung der wirkſamen Capillarkraft Statt findet, erklärt ſich die auffallende Erſcheinung, daß zwei ebene Platten H J, K L (Fig. 64), zwiſchen welchen eine tropfbare Flüſſigkeit über ihren

äußeren Stand MN bis AB ſich erhoben hat, gegen einander gezogen werden, und wenn ſie frei beweglich ſind, ſich wirklich gegen einander bewegen. Betrachten wir nämlich eine Flüſſigkeitsſäule, welche in O, der tiefſten Seelle der concaven Oberfläche der Flüſſigkeit innerhalb der Platten anfängt, bis E herabgeht und dann ſeitwärts bis zu dem noch oberhalb der äußeren Oberfläche der Flüſſigkeit liegenden Puncte F der beweglichen Wand KL ſich fort erſtreckt. Das Ende O dieſer Säule wird auswärts und dadurch das Ende F eben ſo ſtark einwärts gezogen, weil die Oberfläche der Flüſſigkeit in O concav iſt. Dieſer Zug beträgt ſo viel, als einer Kraft entſpricht, welche dem hydroſtatiſchen Drucke der Säule OG, die über die Ebene MN gehoben erſcheint, gleich kommt. Der bei F einwärts gerichtete Zug wird nur durch den hydroſtatiſchen Druck der Säule OE vermindert, ſo daß bei F die freie Wirkſamkeit einer einwärts ziehenden Kraft übrig bleibt, deren Stärke dem hydroſtatiſchen Drucke der Säule EG gleich iſt. Es wird alſo jeder Punct der Wand KL, der über MN liegt und zugleich mit Flüſſigkeit in Berührung iſt, um ſo ſtärker einwärts getrieben, je höher er liegt. Alle Stellen der Wand KL unter der Ebene MN aber, die von beiden Seiten mit Flüſſigkeit in Berührung ſind, z. B. U, erleiden auch von beiden Seiten gleichen Druck. Daß zwei Platten, innerhalb welchen die Flüſſigkeit einen tieferen Stand hat, als außerhalb, von der höher ſtehenden äußeren Flüſſigkeit gegen einander gedrückt werden, iſt für ſich klar.

Die Capillarität modificirt daher den Druck, welchen ſchwimmende, aber nicht ganz eingetauchte Körper von der umgebenden Flüſſigkeit erleiden; denn es gehen aus der Capillarität zwei horizontal wirkende Kräfte hervor, und ſuchen eine Bewegung im horizontalen Sinne zu erzeugen. Dieſes bemerkt man an leichten ſchwimmenden Körpern, welche in die Nähe des Gefäßrandes kommen. Auch die Bewegung zweier in einer Flüſſigkeit ſchwimmenden Kugeln gehört hierher, die ſich anzuziehen ſcheinen, wenn ſie beide von der Flüſſigkeit benetzt werden oder beide trocken bleiben, hingegen abzuſtoßen, wenn eine benetzt wird, die andere nicht.

232. Die hier vorgetragene Theorie läßt ſich auch noch auf andere Erſcheinungen anwenden, die mit denen in Haarröhrchen verwandt ſind; ja ſie gibt von ihnen nicht bloß allgemeine Erklärungen, ſondern beſtimmt ſie dem Maße nach. Mit Leichtigkeit erſieht man aus ihr den Grund folgender Erſcheinungen: Taucht man ein gläſernes Röhrchen in Waſſer oder in Weingeiſt, zieht es dann heraus und hält es vertical, damit ſich unten ein Tropfen bilde, ſo hat die darin befindliche, ſchwebend erhaltene Säule eine doppelt ſo große Länge, als diejenige, welche ſich im Röhrchen erhebt, wenn es mit einem Ende in der Flüſſigkeit ſtehen bleibt. Es wird nämlich die aufwärts wirkende Molecularwirkung an der unteren convexen Flüſſigkeitsfläche durch die ihr gleiche aufwärts gerichtete Action an der oberen concaven Fläche unterſtützt. Gießt man Waſſer in eine Communicationsröhre, wovon ein Arm ein Haarröhr-

chen bildet, ſo ſteht natürlich die Flüſſigkeit in dieſem höher, als im anderen weiteren Arme. Neigt man nun die Röhre nach der Seite des Haarröhrchens hin, ſo nimmt der Höhenunterſchied in beiden Armen beſtändig ab, ſo wie die flüſſige Säule, vermög der Reibung an den Wänden, eine minder concave Oberfläche annimmt. Iſt der enge Schenkel kürzer als der weite, ſo kann man in letzterem Flüſſigkeit ſo zugießen, daß ſie dort einen höheren Stand bekommt, als im engen Schenkel; aber dann iſt der enge Schenkel ganz gefüllt, und die Flüſſigkeit zeigt an ſeinem Ende eine convexe Fläche, an der die Action der darunter liegenden Molekel den Ueberſchuß des hydroſtatiſchen Druckes auf der andern Seite compenſirt. Stellt man zwei reine Glastafeln unter einem ſehr ſpitzigen Winkel zuſammen, und taucht ſie ſo, daß ihre Vereinigungslinie vertical ſteht, in Waſſer, ſo erhebt ſich dieſes, und die Endpuncte der gehobenen Maſſe bilden eine Hyperbel. Hält man ein coniſches, beiderſeits offenes Röhrchen ſo, daß ſeine Axe horizontal liegt, und läßt bei der größeren Oeffnung eine kleine Säule von Waſſer hinein, ſo bewegt ſich dieſe Säule gegen die kleinere Oeffnung zu, und man muß die Axe des Röhrchens etwas gegen den Horizont neigen, um den Tropfen im Steigen zu hindern. Es ſind nämlich hier die concaven Flächen an beiden Enden der Flüſſigkeitsſäule ungleich gekrümmt, und daher iſt auch die Molecularwirkung an ihnen verſchieden, weßwegen der Action an dem engeren Ende der hydroſtatiſche Druck der Flüſſigkeit zur Herſtellung des Gleichgewichtes zu Hülfe kommen muß. Es läßt ſich hier ſogar der hiezu nöthige Neigungswinkel des Röhrchens berechnen. Ja ſelbſt zwiſchen der Höhe der Flüſſigkeitsſäule, die in einem Haarröhrchen von beſtimmtem Durchmeſſer gehoben wird, und zwiſchen der Kraft, welche eine Platte von gegebener Größe aus dem Materiale des Röhrchens von der Oberfläche dieſer Flüſſigkeit losreißt, findet eine ſo genau darſtellbare Beziehung Statt, daß ſich dieſe Kraft berechnen läßt, ſobald jene Höhe gegeben iſt.

Als bloße Haarröhrchenwirkung hat man noch zu betrachten: das Aufſteigen, Durchſeihen u. dgl. der Flüſſigkeiten durch poröſe, feſte Körper, wie Löſchpapier, Zucker, Sand; das Walken der Tücher; die Methode den Meliszucker durch feuchten Thon zu reinigen; das Naßwerden eines ganzen Sandhaufens, der auf feuchtem Boden liegt, oder einer Mauer, die auf feuchtem Grunde ſteht; die Wirkung der Kerzen- und Lampendochte; der Nutzen des Papierleimens. Das Wegnehmen eines Tropfens mittelſt Löſchpapier, das Abwiſchen des Schweißes mit einem Tuche geſchieht durch Capillarität. In die Gefäße organiſcher Körper kann eine Flüſſigkeit durch Capillarität aufgenommen, nicht aber darin in Circulation geſetzt werden. Wie groß die Kraft der Capillarität ſey, erſieht man daraus, daß man mittelſt derſelben Mühlſteine losſprengen kann, daß ſich Stricke, die durch bedeutende Gewichte geſpannt ſind, durch ſie verkürzen, wenn ſie naß werden ꝛc.

233. Steht eine Flüſſigkeit mit einem poröſen Körper, den ſie benetzt, in Berührung, ſo wird ein Theil derſelben durch Capillarität in die Poren jenes Körpers aufgenommen, kann aber nicht durch die-

ſelbe Kraft aus den Poren ausfließen. Zu letzterem wird ein hydroſtatiſcher Druck von beſtimmter Größe erfordert. Sind die Poren ſehr klein, ſo gehört dazu ein ſehr bedeutender Druck. Werden zwei Flüſſigkeiten durch eine dünne, poröſe Scheidewand, die von beiden Flüſſigkeiten benetzt wird, getrennt, ſo ſtellt ſich durch die Poren der Wand von einer Flüſſigkeit in die andere ein Strom her. Sind die Flüſſigkeiten an chemiſcher Natur verſchieden ſo daß ſie von der Scheidewand ungleich leicht durchgelaſſen werden; ſo haben dieſe zwei entgegengeſetzten Ströme eine ungleiche Stärke und in Folge dieſes ſteigt die ganze Flüſſigkeit, nach welcher der ſtärkere Strom gerichtet iſt, um eine beſtimmte Größe. Man kann ſich davon leicht überzeugen, wenn man eine Glasröhre an einem Ende mit einer Blaſe verbindet, eine ſtarke wäſſerige Kupfervitriollöſung hineingießt und ſie dann in ein größeres Gefäß mit Waſſer eintaucht; da wird man bald ſehen, daß die Flüſſigkeit in der Röhre ſteigt. Das Umgekehrte erfolgt, wenn ſich das Waſſer in der Röhre, die Salzlöſung im größeren Gefäße befindet. Dieſes Verhalten der Flüſſigkeiten iſt zuerſt von Fiſcher (Pogg. Ann. 11. 126) beſchrieben worden, Dutrochet aber hat es als ſeine Entdeckung geltend gemacht und mit dem Namen Endosmoſe und Exosmoſe belegt (Pogg. Ann. 11. 133; 28. 359. Schweiggers J. 58. 1. und 20. Brücke in Pogg. Ann. 58. 77). Hauptquellen über die Theorie der Capillarität ſind: *Laplace*, Théorie de l'action capillaire, Paris 1806, auch als Supplement zur Mécanique céleste 1. 4. Im Auszuge in Gilb. Ann. 33. *Gauss*, principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii, Gottingae 1830. *Poisson*, nouvelle Théorie de l'action capillaire, Paris 1831. Im Auszuge in Pogg. Ann. 25. 270. Mile in Pogg. Ann. 45. 287 und 501.)

Siebentes Kapitel.

Gleichgewicht der ausdehnſamen Körper (Aeroſtatik).

A. Ausdehnſamkeit der Gaſe und Luftdruck.

234. Ausdehnſame Körper haben mit tropfbarflüſſigen die abſolut leichte Verſchiebbarkeit ihrer Theile gemein, unterſcheiden ſich aber von denſelben durch ihre Zuſammendrückbarkeit und das damit in Verbindung ſtehende Streben nach Vergrößerung des Volums. Man nennt dieſes Beſtreben nach Räumvergrößerung Ausdehnſamkeit, und die Kraft, welche ſich dabei äußert, Spannkraft oder Expanſivkraft. Sie reſultirt daraus, daß die Abſtoßung der Molekel der Gaſe ein ſo entſchiedenes Uebergewicht über die Anziehung derſelben hat, daß letztere im Vergleich zu erſterer ganz verſchwindet. Begreiflich wird dieſes Uebergewicht durch die verhältnißmäßig große

Wärmemenge, welche Gaſe enthalten. Je weiter ſich die Molekel von einander entfernen, ohne daß zugleich die Größe der abſtoßenden Kraft vermehrt wird, deſto kleiner wird dieſes Uebergewicht. Unter den gewöhnlichen Verhältniſſen ſtehen die Gaſe unter einem bedeutenden Drucke, ihre Molekel ſind einander ſtark genähert und darum iſt auch ihr Gewicht verſchwindend klein gegen ihre Abſtoßung; es iſt aber wohl ein Zuſtand denkbar, bei welchem das Gewicht der Molekel mit ihrer Abſtoßung im Gleichgewichte iſt. Der Druck, unter welchem Gaſe gewöhnlich ſtehen, iſt jener der atmoſphäriſchen Luft. Es iſt alſo vor Allem nöthig, ein Mittel zu kennen, durch welches dieſer jeder Zeit beſtimmt werden kann. Ein ſolches gibt das ſogenannte Barometer ab.

235. Wenn man eine etwa drei Fuß lange, einige Linien weite, an einem Ende verſchloſſene Glasröhre mit Queckſilber füllt, ſie dann mit dem Finger verſchließt, umwendet und mit dem zugehaltenen Ende vertical in ein Gefäß mit Queckſilber ſtellt, ſo ſinkt, nachdem man den Finger weggezogen hat, das in der Röhre befindliche Queckſilber (in Wien) ungefähr bis auf 28½ W. Zoll herab und bleibt in dieſer Höhe ſchweben. Daß dieſes nicht von einer Adhäſion herrühre, läßt ſich ſchon aus der converen Oberfläche des Queckſilbers im Glaſe erkennen, ja ſogar augenſcheinlich dadurch zeigen, daß man die Röhre oben öffnet, denn da fällt das Queckſilber alſogleich in das Gefäß hinab. Neigt man die Röhre, ſo bleibt der verticale Abſtand der Oberfläche des Queckſilbers in derſelben von der Queckſilberfläche im Gefäße ungeändert, bis endlich bei ſehr ſchiefer Lage der Röhre dieſe gänzlich mit Queckſilber gefüllt erſcheint. Da hiebei das Queckſilber in der Röhre gegen jenes im untern Gefäße fortwährend denſelben hydroſtatiſchen Druck behauptet, ſo kann wohl die Urſache ſeines höheren Standes in der Röhre keine andere ſeyn, als das Stattfinden eines beſtimmten äußeren Druckes auf das Queckſilber im Gefäße. Da ſich der Verſuch auf ähnliche Weiſe auch mit Waſſer machen läßt, mit dem einzigen Unterſchiede, daß dabei die Waſſerſäule 32 Fuß hoch, mithin gerade in dem Verhältniſſe größer erſcheint, in welchem die Dichte des Waſſers geringer iſt, als jene des Queckſilbers; ſo ſteht der auf die Flüſſigkeit im untern Gefäße ausgeübte Druck mit der materiellen Beſchaffenheit derſelben in keinem Zuſammenhange und kann nach allem hier Geſagten wohl nur der Luft zugeſchrieben werden. In ſofern die Höhe der Queckſilberſäule bei dieſem Verſuche 28½ Zoll beträgt, drückt die Luft auf einen Quadratzoll wie eine Queckſilberſäule von 28½ Höhe. Das Gewicht einer ſolchen Säule ergibt ſich leicht aus dem ſpecifiſchen Gewichte des Queckſilbers. Nehmen wir an, der genannte Queckſilberſtand walte bei der Temperatur 0° C. ob, ſo findet man, da die Dichte des Queckſilbers in dieſem Falle 13.598 und das Gewicht eines Kubikzolles Waſſer 1.0439 W. Lothe, alſo das Gewicht eines Kubikzolles Queckſilber 14.1950 W. Lothe beträgt, den verlangten Druck = 12.63 Pfund oder 12 W. Pfund 20 Loth 133.7 Gran. Die zu dieſem, von Torricelli zuerſt ange-

ſtellten Verſuche dienende Röhre heißt man die Torricelliſche Röhre, den über dem Queckſilber entſtehenden leeren Raum Torricelliſche Leere.

Zu genanntem Verſuche gab eine mißglückte Unternehmung der Brunnengräber Veranlaſſung, die das Waſſer mittelſt einer Pumpe über 32 Fuß heben wollten und es nicht vermochten. Dieſes würde ihnen gar nicht aufgefallen ſeyn, wenn man nicht damals der Natur eine Scheu vor dem leeren Raume (horror vacui) zugeſchrieben hätte, der doch bei ihrem Verſuche zwiſchen dem Waſſer und dem Kolben der Pumpe entſtanden war. Sie wendeten ſich an den berühmten Galiläi, um in ihrer phyſikaliſchen Verlegenheit Rath zu finden, erhielten ihn aber nicht. Erſt deſſen Schüler Torricelli war es vorbehalten, die wahre Urſache dieſer Erſcheinung (im Jahre 1643) aufzudecken.

236. Der Torricelliſche Verſuch ſtellt den Druck der Luft auf eine ſehr anſchauliche Weiſe in der Höhe der Queckſilberſäule dar, welche ihm das Gleichgewicht hält. Statt daher dieſen Druck in Gewichtseinheiten auszudrücken, mithin, wie vorhin gelehrt wurde, die entſprechende Queckſilberhöhe mit dem ſpecifiſchen Gewichte des Queckſilbers für die herrſchende Temperatur zu multipliciren, kann man mit größerer Bequemlichkeit unmittelbar die Höhe der durch die Luft getragenen Queckſilberſäule ſelbſt als Maß des Luftdruckes gebrauchen. Die Erfahrung lehrt, daß der Queckſilberſtand in der Torricelliſchen Röhre nicht bloß an verſchiedenen Orten verſchieden iſt, ſondern an demſelben Orte fortwährenden Aenderungen unterliegt, indem er ohne Unterlaß innerhalb gewiſſer Grenzen ſchwankt. (In Wien zwiſchen 27 und 29 Zoll; der mittlere Stand iſt da 28 W. Zoll 4 Lin.) Da nun ſelbſt dem oberflächlichen Blicke ſich ein auffallender Zuſammenhang zwiſchen dieſen Aenderungen und dem Gange der Witterung darſtellt, ſo hat die Torricelliſche Röhre, mit einer Scale zur Beobachtung des Queckſilberſtandes verſehen, unter dem Namen Barometer allgemeines Intereſſe gefunden. Der Phyſiker fordert von dieſem Inſtrumente mehr als eine bloße Andeutung einer Statt gehabten Aenderung des Luftdruckes; es ſoll denſelben genau zu meſſen geſtatten. Zu dieſem Zwecke muß die Röhre, wenigſtens um das Ende der Queckſilberſäule herum, gleich weit, nicht enger als eine Linie ſeyn, eine gute, in Zolle und Linien eingetheilte Scale, und wo möglich auch einer Nonius nebſt einer Viſirvorrichtung zur genauen Beziehung des Endes der Queckſilberſäule auf die Scale haben; das Queckſilber, welches in die Röhre eingefüllt wird, muß rein und gut ausgetrocknet ſeyn, und in der Röhre ſelbſt ſo lange gekocht werden, bis ſich ſelbſt während des Kochens keine Luftblaſe mehr zeigt; denn nur dann iſt der über dem Queckſilber befindliche Raum völlig luftleer, und das Barometer weiſet den gehörigen Queckſilberſtand.

Bei dem Auskochen eines Barometers iſt ſorgfältig darauf zu achten, daß kein Queckſilberoxyd entſtehe, welches mit dem metalliſchen Queckſilber eine Maſſe bildet, die ſich an das Glas anhängt. Man hat vorgeſchlagen, um dieß zu verhüten, in die mit Queckſilber gefüllte Röhre zu wiederholten Malen Waſſerſtoffgasblaſen aufſteigen zu laſſen und

ſie wieder durch Umkehren der Röhre zu entfernen, damit die rückſtändige Luft nur aus dieſem Gaſe beſtehe, das nicht bloß keine Oxydbildung geſtattet, ſondern für das etwa ſchon vorhandene beim Kochen als Reductionsmittel dient. (Zeitſchrift 10. 234.) Wenn man zu Barometerröhren ſehr hartes Glas wählt, macht die Adhäſion wenig Unſicherheit. Das Queckſilber im Barometer nicht zu kochen, wie neueſtens wieder empfohlen worden iſt, um die Adhäſion desſelben an das Glas zu vermeiden, iſt nicht gut und ein Rückſchritt in der Phyſik, indem man ſich, um einem Fehler auszuweichen, einem größeren Preis gibt. Selbſt ein gut ausgekochtes und ganz luftleeres Barometer fängt mit der Zeit etwas Luft und gibt dann den Luftdruck zu gering an. Am beſten iſt es wohl, ein ſolches nach einiger Zeit wieder luftleer zu machen, doch kann man den Einfluß der aufgenommenen Luft auch durch einen Verſuch und eine darauf baſirte Rechnung beſtimmen. Wenn man nämlich die Queckſilbermenge in dem offenen Schenkel vermehrt oder vermindert, ſo wird dieſes in einem luftleeren Barometer keinen Einfluß auf die Höhe der von der Luft getragenen Queckſilberſäule ausüben und wo ſich ein ſolcher Einfluß zeigt, da kann man gewiß ſeyn, daß ſich über dieſer Säule Luft befinde. Geſetzt man habe in den offenen Schenkel ſo viel Queckſilber zugeſetzt, daß daſelbſt die Säule, wenn der Durchmeſſer dieſes Schenkels auf jenen der Röhre reducirt worden, um a geſtiegen wäre, und es ſey die Säule in der Röhre nur um b geſtiegen; ſo rührt die Depreſſion $a - b = y$ von der im leer ſeyn ſollenden Raume vorhandenen Luft her. Iſt die unbekannte Spannkraft derſelben $= e$, die Größe des Raumes über dem Queckſilber vor dem Zugießen einer neuen Queckſilbermenge entſprechend einem Cylinder vom Durchmeſſer der Röhre und einer Höhe h, nach dem Zugießen einer ſolchen von der Höhe $h - b$; ſo iſt dadurch die Spannkraft der Luft in dieſem Raume um y gewachſen und man hat $h : h - b = e + y : e$, und daher $e = \frac{(h-b)\,y}{b}$. Hat man für einen zweiten Verſuch, bei welchem b' und y' dasſelbe bedeuten, was beim erſten b und y bezeichneten, ſo iſt wieder $h : h - b' = e + y' : e$ und daher aus beiden Proportionen $h = \frac{b\,b'\,(y' - y)}{b\,y' - b'\,y}$ mithin auch h gegeben, wenn es nicht ſchon vorläufig bekannt ſeyn ſollte. Die Größe e iſt jeder gemeſſenen Barometerhöhe an einem ſolchen Inſtrumente zuzuſetzen. (Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie Art. Barometer. Kupffer in Pogg. Ann. 26. 446.)

237. Ohne die Künſteleien anzuführen, durch die man Barometer empfindlicher zu machen oder in zierliche Möbel umzuſtalten ſuchte, wie man dieſes an Huyghen's und Hook's Doppelbarometer, an des letzteren Radbarometer, an Morland's Winkelbarometer, an Bernoulli's rechtwinkeligem Barometer ꝛc. ſehen kann, geben wir nur drei verſchiedene Formen derſelben an. Zum täglichen Gebrauche, wo nicht die größte Genauigkeit nothwendig iſt, dient das Barometer mit dem birnförmigen Gefäße A (Fig. 65), welches Gefäß im Verhältniß zur Röhre B weit genug iſt, damit beim Steigen und Fallen des Queckſilbers in der Röhre die Veränderungen im Gefäße ſo klein als möglich ausfallen. Zu genaueren Beobachtungen bedient man ſich des eigentlichen Gefäßbarometers, von der Form Fig. 66, wo B wieder die Barometerröhre, A aber ein weites, cylindriſches

Gefäß vorſtellt, deſſen unterer Boden durch eine Schraube C gehoben oder geſenkt werden kann, um dadurch die Oberfläche des Queckſilbers immer in demſelben Stande zu erhalten. Gut iſt es, die Mündung des Barometerrohres zu verengen oder das Ende, woran ſie ſich befindet, aufwärts zu krümmen, um das Eintreten von Luft in die Röhre zu hindern. Bei täglichen Beobachtungen kann man von den Veränderungen des Queckſilbers im Gefäße A ganz abſehen, wenn letzteres weit genug iſt; will man aber genaue Reſultate erhalten, ſo muß die Oberfläche des Queckſilbers daſelbſt bei jeder Beobachtung den Stand haben, welcher dem Nullpuncte der Scale entſpricht. Dieſes erhält man, wenn man mittelſt der Schraube C das Queckſilber ſo weit hebt oder ſenkt, bis deſſen Oberfläche an die Spitze eines feinen, eigens angebrachten Stiftes reicht, oder bis ein darauf ſchwimmendes, durch den Deckel der Queckſilberbüchſe hervorragendes Stängelchen eine beſtimmte Höhe erreicht hat. Fig. 66, a und b ſtellen dieſe zwei Einrichtungen der Queckſilberbüchſe beſonders vor, von welchen jedoch die erſte den Vorzug verdient. Erhebt man mittelſt der Schraube C den mit Leder gefütterten Boden des Queckſilbergefäßes, bis er an die Glasröhre angepreßt iſt (in welcher man vorläufig das Queckſilber durch Neigen bis an die Wölbung ſteigen gemacht hat), oder wenigſtens das Queckſilber in dem Gefäße ſo einengt, daß es ſich nicht bewegen kann; ſo iſt das Inſtrument geſperrt und zum Transport geeignet. Damit aber die durch Wärme bewirkte Ausdehnung des Queckſilbers im geſperrten Zuſtande die Röhre nicht ſprenge und bei der Zuſammenziehung deſſelben durch Kälte nicht ein leerer Raum entſtehe, muß der Boden des Queckſilbergefäßes elaſtiſch ſeyn, um ſich immer an das Queckſilber anzuſchießen, wenn es ſich zuſammenzieht, und ihm nachzugeben, wenn es ſich ausdehnt. Das vollkommenſte Barometer iſt ohne Zweifel das Heberbarometer (Fig. 67). Es beſteht aus einer heberförmig gebogenen Röhre, wovon der kürzere Schenkel denſelben Durchmeſſer hat, wie der längere dort, wo die Queckſilberſäule ſpielt. Wenn ein ſolches Inſtrument gehörig von Luft gereinigt iſt, ſo gibt a b, als der Höhenunterſchied der Queckſilberſäulen in den beiden Schenkeln, den Luftdruck an. Steigt das Queckſilber im längeren Arme, ſo fällt es im kürzeren und umgekehrt. Es iſt zwar die Länge der Queckſilberſäule in d c eben ſo veränderlich, wie in a b, aber die Größen dieſer Veränderungen werden nur dann einander vollkommen gleich ſeyn, wenn die beiden Schenkel vollkommen gleiche Durchmeſſer haben, eine Eigenſchaft, die man gar ſelten an Glasröhren findet. Wäre dieſe Eigenſchaft leichter zu erhalten, ſo dürfte man nur die Höhe a b ein- für allemal von a bis b meſſen, ihr Maß in b verzeichnen und die Veränderungen in b doppelt nehmen, ohne die in c zu berückſichtigen. Um ſich aber auf eine ſo ſchwer zu erhaltende Sache nicht verlaſſen zu dürfen, macht man die Röhre beweglich, indem man ſie in d an eine Schraubenmutter befeſtiget, welche durch die am Brete A B C D angebrachte Schraube e gehoben oder geſenkt werden kann. Bevor man die Barometerhöhe beobachtet, ſchraubt

man die Röhre ſo, daß die Oberfläche des Queckſilbers einem fixen Puncte c entſpricht.

Eine ſehr einfache, von Gay Luſſac angegebene Form des Heberbarometers zeigt Fig. 68 Hiebei iſt die Stellung des Rohres gegen die Scale nicht veränderlich, ſondern man beobachtet an einer fixen, entweder auf dem Rohre ſelbſt oder auf der metallenen Hülſe, in der das Rohr eingeſchloſſen iſt, verzeichneten Scale den Queckſilberſtand in beiden Schenkeln, und addirt oder ſubtrahirt die correſpondirenden Zahlen, je nachdem der Nullpunct der Scale zwiſchen den beiden Queckſilberflächen liegt oder das Gegentheil Statt findet. Mehr über dieſen Gegenſtand in: Luz vollſtändige und auf Erfahrung gegründete Beſchreibung von Barometern Nürnberg und Leipzig, 1784; Gehler's phyſ. Wörterbuch, neu bearbeitet. Art Barometer. Buff in Pogg. Ann. 31. 266. Gilb. Ann. 2. 334; 6. 195. Ueber das Differenzialbarometer wird bei der barometriſchen Höhenmeſſung geſprochen werden.

238. Um Barometerbeobachtungen, welche an verſchiedenen Inſtrumenten und unter verſchiedenen Umſtänden angeſtellt worden ſind, mit einander vergleichbar zu machen, muß man auf die Verminderung des Barometerſtandes wegen der Enge des Rohres (Capillardepreſſion) und auf die Veränderung des ſpecifiſchen Gewichtes des Queckſilbers und der Länge der Scale bei wechſelnder Temperatur Rückſicht nehmen. Der erſte Umſtand erzeugt eine conſtante, der zweite eine veränderliche Differenz der Barometerſtände. Die Capillardepreſſion übt bei einem Heberbarometer, deſſen beide Schenkel an den Stellen, wo die Queckſilberflächen ſich auf und ab bewegen, über $2^1/_2$ W. L. weit ſind und möglichſt gleiche Durchmeſſer haben, auf die Angabe des Barometerſtandes keinen merklichen Einfluß aus, weil ſie hiebei ſchon an ſich betrachtet geringfügig iſt und in dem einen Schenkel nahe ſo viel beträgt, als in dem andern, und nur bei engeren Röhren äußert ſich der Umſtand, daß die Queckſilberfläche auf der einen Seite an einen luftleeren Raum grenzt, während ſie auf der andern mit feuchter Luft in Berührung ſteht, in wahrnehmbarem Grade, und nöthiget zu einer Correction, die man nach dem Durchmeſſer der Röhre und der Höhe der Wölbung, mit der das Queckſilber ſich endiget, mittelſt Rechnung oder mit Hülfe einer Tabelle verrichtet. Eben ſo iſt die Capillarwirkung bei einem Gefäßbarometer mit ſehr weitem Rohre unmerklich. Man nennt ſolche Barometer, bei denen die Capillardepreſſion wegfällt, Normalbarometer. Bei Gefäßbarometern mit engeren Röhren kann man den durch Rechnung (nach Schleiermacher oder Bravais, Pogg. Ann. 57. 519) oder durch Vergleichung mit einem Normalbarometer ausgemittelten Höhenunterſchied der Queckſilberſäule wegen der Capillarität ſchon bei der Anordnung der Scale ein für alle Mal corrigiren, indem man den Nullpunct der Scale um das Erforderliche tiefer ſetzt.

Von noch größerem Belange iſt die Rückſicht auf die Temperatur des Queckſilbers. Man berechnet alle Beobachtungen, um ſie vergleichbar zu machen ſo, als ob ſie bei einer und derſelben Tem-

peratur, welche man die **Normaltemperatur** nennt und wofür man allgemein 0° C. anzunehmen pflegt, angeſtellt worden wären.

Die Correction wegen der Capillarität für ein Barometer kann man aus folgender Tabelle entnehmen, welche die Depreſſion durch die Capillarkraft für einen gegebenen Röhrendurchmeſſer R und eine bekannte Höhe der Wölbung der Queckſilberoberfläche in Millimetern nach **Schleiermacher** und **Ekhart** angibt.

R.	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.5	4.975	8.912	12.560	12.616							
1.0	1.262	2.450	4.377	5.581	6.098	6.171					
2.0	0.299	0.595	1.152	1.643	2.037	2.338	2.541	2.658	2.681	2.699	2.712
3.0	0.121	0.242	0.476	0.695	0.839	1.066	1.206	1.316	1.397	1.449	1.473
4.0	0.068	0.120	0.240	0.354	0.460	0.546	0.530	0.702	0.758	0.805	0.838
5.0	0.034	0.069	0.138	0.205	0.247	0.299	0.308	0.390	0.428	0.468	0,476

Demnach beträgt die Correction für ein Gefäßbarometer mit einer Röhre, deren Durchmeſſer = 3 M m und wo die Höhe der Wölbung der Queckſilberoberfläche in der Röhre 0.4 M m iſt 0.476 M m; in einem Heberbarometer, wo beide Schenkel der Röhre 5 M m Durchmeſſer haben, die Wölbung des Queckſilbers aber im offenen Schenkel 0.2 M m, im geſchloſſenen aber 0.4 M m iſt, iſt dieſe Correction gleich 0.308 − 0.138 = 0.17 M m.

Die wegen der Temperatur des Queckſilbers zu machende Correction beruht auf der Thatſache, daß ſich die Länge einer Queckſilberſäule, die bei 0° C. als Einheit angenommen wird, für jeden Wärmegrad um $\frac{1}{5550}$ ändert. Heißt daher b die bei t° C. beobachtete und b′ die auf 0° C. reducirte Barometerhöhe, ſo iſt

$$b' + \frac{b't}{5550} = b \quad \text{und daher ſehr nahe} \quad b' = b - \frac{bt}{5550},$$

wo t poſitiv oder negativ zu nehmen iſt, je nachdem das Thermometer über oder unter dem Eispuncte ſteht. Die Scale wird durch die Wärme wie jeder andere Maßſtab afficirt, die Correction wird daher in derſelben nach der in S. 126 angegebenen Formel berechnet.

239. Es gibt viele der Größe nach beſtimmbare Erſcheinungen, die vom Luftdrucke abhängen und die man, um ſie vergleichbar zu machen, auf einen beſtimmten Luftdruck reduciren muß; darum iſt es nöthig, einen ſogenannten **Normalbarometerſtand** anzunehmen. Meiſtens wählt man dazu jenen, dem die bei 0° C. Statt findende Queckſilberhöhe von 28 Pariſer Zoll = 28.774 W. Zoll = 28 W. Z. 9.29 Lin. = 757.96 Millimeter entſpricht. Doch ziehen andere den, von den neueren franzöſiſchen Phyſikern hiezu adoptirten Stand von 760 Millimetern = 28.851 W. Zoll = 28 W. Zoll 10.22 Lin. = 28 Par. Z. 0.905 Lin. vor. In dieſem Werke wird jedesmal ausdrücklich geſagt, auf welche dieſer Annahmen eine Angabe ſich bezieht. Der Luftdruck bei dem Normalbarometerſtande 28 P. Z. (nahe 12¾ W. Pfund), iſt die Kraft, welche man unter der Benennung **eine Atmoſphäre** zu verſtehen und die man beim Meſſen ſtärkerer Kraftäußerungen als Einheit anzunehmen pflegt.

240. Die Queckſilberſäule im Barometer gibt nicht bloß das Maß für den Druck der Atmoſphäre ab, ſondern mißt auch die Ausdehnſamkeit der das Queckſilber unmittelbar berührenden Luft, ja in dem Falle, wo das Queckſilber eines Barometers mit einer abgeſperrten Luftmaſſe in Berührung ſteht, wie z. B. wenn man das Gefäß eines gewöhnlichen Gefäßbarometers luftdicht verſchließt, läßt ſich die dem Drucke der Queckſilberſäule gegenwirkende Kraft nicht mehr als das Reſultat der Schwere, ſondern nur der Spannkraft der Luft anſehen. Es ſind aber noch andere Vorrichtungen denkbar, welche die Ausdehnſamkeit einer Luftmaſſe direct angeben und daher mit Recht Ausdehnſamkeitsmeſſer, genannt werden.

241. Wenn man in eine gebogene Röhre ABC (Fig. 69) mit verticalen Schenkeln, wovon der kürzere verſchloſſen iſt, Queckſilber gießt, ſo daß es im längeren bis D, im kürzeren bis E reicht; ſo erleidet die in EC eingeſchloſſene Luft einen Druck von der äußeren Luft und von der Queckſilberſäule DF, dem der von ihrer Ausdehnſamkeit und von ihrem Gewichte herrührende Gegendruck das Gleichgewicht hält. Man kann hiebei das Gewicht der Luftmaſſe EC als unmerklich außer Acht laſſen. Bezeichnet man alſo die bei dem Verſuche Statt findende Barometerhöhe durch b, und die Höhe der Queckſilberſäule DF durch a, ſo kann der Druck einer Queckſilberſäule von der Höhe $b + a$ als das Maß der Ausdehnſamkeit der Luft in EC angeſehen werden.

242. Es iſt einleuchtend, daß das in 240 beſchriebene Inſtrument auch vorkommende Aenderungen in der Ausdehnſamkeit eines Gaſes erkennen laſſe; kleine Aenderungen erkennt man aber beſſer mittelſt Wollaſton's Differenzialbarometer. Dieſes iſt in Fig. 71 abgebildet und beſteht aus einem Käſtchen A, das durch eine Scheidewand in zwei Fächer getheilt wird, deren eines offen iſt und daher mit der äußeren Luft communicirt, das andere aber durch einen Deckel luftdicht geſchloſſen iſt und nur eine offene Seitenröhre hat. In dieſes Käſtchen iſt eine zweiſchenkelige Glasröhre B ſo eingekittet, daß ein Schenkel mit dem offenen, der andere mit dem geſchloſſenen Fache in Verbindung ſteht. Beide Schenkel enthalten eine 2—3 Zoll lange Waſſerſäule und über derſelben eine Oehlſäule, die beiderſeits bis ins Gefäß reicht und den Boden deſſelben noch $^1/_2$ Z. hoch deckt. Iſt die Waſſerſäule in beiden Schenkeln und folglich auch das Niveau des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes gleich hoch, ſo iſt das Inſtrument adjuſtirt. Beim Gebrauche wird die Röhre der geſchloſſenen Abtheilung mit dem Raume in Verbindung gebracht, wo die Aenderung der Expanſivkraft vor ſich gehen ſoll, und die Bewegung der Waſſerſäule beobachtet. Dort, wo die Expanſivkraft kleiner wird, ſteigt die Waſſerſäule und es verkürzt ſich die Oehlſäule; die Differenz zwiſchen dem Drucke einer Waſſer- und Oehlſäule, deren jede den verticalen Abſtand der Trennungsflächen dieſer Flüſſigkeiten in beiden Schenkeln zur Höhe hat, entſpricht dieſer Abnahme, in ſoferne man nämlich die Aenderung des Niveaus des Oehles in beiden

Abtheilungen des Gefäßes, wegen der Größe ſeines Durchmeſſers im Vergleiche mit der Weite der Röhre als unmerklich betrachten darf. Nähme man ſtatt Oehl und Waſſer zwei andere Flüſſigkeiten, deren Dichten einander noch näher ſtänden, ſo würde das Inſtrument noch empfindlicher. (Zeitſchr. 6. 264.)

243. Eine Vorrichtung, wie die in 241 beſprochene, kann zugleich dazu dienen, auszumitteln, in welchem Zuſammenhange Dichte und Ausdehnſamkeit eines Gaſes ſtehen. Gießt man nämlich in den offenen Schenkel der Röhre Queckſilber nach, vermehrt dadurch die Höhe der Queckſilberſäule und mißt dabei immer den Raum, welchen die Luft EC einnimmt; ſo lehrt die Erfahrung, daß letzterer mit der Summe $b + a$ fortwährend genau in verkehrtem Verhältniſſe ſtehe, wenn die Luft nur vor dem Verſuche gut ausgetrocknet wird und während des Verſuches keine Aenderung ihrer Temperatur vorgeht. Ein gleiches Reſultat findet man, wenn man die Luft, ſtatt ſie zu verdichten, durch Verminderung der drückenden Kraft verdünnt. Man braucht dazu eine etwa 30 Zoll lange Barometerröhre (Fig. 70), die auf einer Seite offen, auf der andern mit einem Hahne B verſchloſſen iſt, und eine eben ſo lange zweite, aber viel weitere und unten geſchloſſene Röhre C. Dieſe wird zum Theile mit Queckſilber angefüllt und erſtere Röhre darein getaucht, nachdem zuvor ihr Hahn geöffnet worden iſt. Sobald die Einſenkung auf eine beliebige Tiefe geſchehen iſt, ſchließt man den Hahn und bemerkt das Volum der in der Röhre enthaltenen Luft, die offenbar einen Druck erleidet, dem der jedesmalige Barometerſtand b entſpricht, hebt ſie dann um ein beliebiges Stück aus dem Queckſilber heraus, ohne jedoch ihr Ende über dasſelbe hervortreten zu laſſen, und mißt den von der Luft eingenommenen Raum wieder. Hat die Queckſilberſäule in der engeren Röhre eine Höhe a, ſo erleidet die Luft darin einen Druck $b - a$, und dieſer Druck wird ſtets dem Luftvolum verkehrt proportionirt gefunden. Dieſen Verſuch kann man nicht bloß mit atmoſphäriſcher Luft, ſondern mit jeder beliebigen Gasart, ja ſogar mit einem Gemenge mehrerer Gaſe anſtellen und für alle ſtellt ſich ein völlig gleiches Verhalten heraus. Da die Dichte eines Körpers mit dem Volum, das er einnimmt, in verkehrtem Verhältniſſe ſteht, ſo läßt ſich dieſes Geſetz, welches Boyle und Mariotte faſt zu gleicher Zeit kennen lehrten, und das nach Letzterem, der es in ſeinem ganzen Umfange entwickelte, das Mariotte'ſche genannt wird, ſo ausdrücken: Die Ausdehnſamkeit der Luft ſowohl der atmoſphären, als jedes andern Gaſes iſt ihrer Dichte proportionirt.

244. Es iſt wohl vorauszuſehen, daß das Mariotte'ſche Geſetz nicht für jeden beliebigen Druck gelten könne und daß es bei der Verdünnung eines Gaſes nur bis dahin Anwendung finde, wo die Ausdehnſamkeit desſelben mit der Schwere ins Gleichgewicht getreten iſt, indem von dieſem Puncte an bei einer ferneren Verminderung des Druckes keine weitere Ausdehnung des Gaſes erfolgen kann. Ferner iſt klar

daß es bei der Verdichtung eine Grenze geben werde, in deren Nähe die Ausdehnſamkeit eines Gaſes nicht mehr ſo raſch wächſt, wie der Druck, und daß zuletzt ein Tropfbarwerden eines ſolchen Körpers eintreten müſſe. In der That iſt es gelungen, durch ſtarken Druck viele ausdehnſame Körper, die man lange Zeit für beſtändige Gaſe gehalten hat, in tropfbare Flüſſigkeiten zu verwandeln. Man hat dieſen Druck dadurch hervorgebracht, daß man die Gasentwicklung in einem engen, verſchloſſenen Raume mittelſt eines chemiſchen Scheidemittels bewerkſtelligte. Die chemiſche Kraft ſolcher Mittel iſt ſtark genug, um ſelbſt dann ſich noch wirkſam zu beweiſen, wenn das Gas auch ſchon ſehr verdichtet iſt und einen mächtigen Gegendruck ausübt. Neueſtens hat man denſelben Erfolg dadurch bewirkt, daß man Kohlenſäuregas mittelſt eines Druckpumpenapparates in die Flaſche einer Windbüchſe preßte. Man hat auf erſterem Wege nachſtehende Gaſe bei der angeſetzten Temperatur durch die angegebenen Druckkräfte tropfbar dargeſtellt:

Ammoniak	bei	— 33° C.	durch	1	Atmoſphäre.
»	»	0° »	»	5	»
»	»	+ 10° »	»	6.5	»
Chlor		0° »	»	6.5	»
Chlorwaſſerſtoff		0° »	»	33	»
Cyan		12.°5 »	»	4	»
Kohlenſäure		— 20° »	»	26	»
»		0° »	»	36	»
»		+ 30° »	»	73	»
Schweflige Säure		— 10° »	»	1	»
»	»	+ 7° »	»	2	»
»	»	12.5° »	»	3	»
Stickſtoffoxydul		0° »	»	44	»

Nach Oerſted (Schweigg. J. 45. 352) gilt das Mariotte'ſche Geſetz bis zu einer 66maligen Verdichtung nicht bloß für atm. Luft, ſondern auch für viele andere Gasarten; aber nach Despretz's noch eine weitere Beſtätigung erheiſchenden Verſuchen (Schweigg J 51. 108) ſoll Waſſerſtoffgas ſchon bei einer 15maligen, Cyan- und Ammoniakgas, ſo wie das ſchwefligſaure und ſchwefelwaſſerſtoffſaure Gas bei einer zweifachen Verdichtung von dieſem Geſetze abweichen. Wiewohl aber die Grenzen, innerhalb welchen dieſes Geſetz für Gaſe gilt, noch nicht feſtgeſetzt ſind, ſo liegt doch das Daſeyn von ſolchen in der Natur der Gaſe. Es iſt nämlich ſehr wahrſcheinlich, daß alle ausdehnſame Körper nur einen gewiſſen Druck ertragen, ohne tropfbar zu werden. Ueberſchreitet man ihn, ſo kommen ſich die Theile des Gaſes näher, als es mit dem Beſtehen ſeiner Ausdehnſamkeit verträglich iſt, es muß ein Theil deſſelben tropfbar werden und das Mariotte-ſche Geſetz hört auf zu dem vorligenden Falle zu paſſen, weil die Verringerung des Volums keine weitere Verdichtung des Gaſes, ſondern lediglich die Formänderung eines Theiles deſſelben herbeiführt. Dieſes hat Oerſted erfahren, als er atmoſphäriſche Luft und ſchwefligſaures Gas mit einander in Betreff ihres Verhaltens gegen drückende Kräfte verglich. Beide befolgten nur bis zu einer 2¼maligen Verdichtung einerlei Gang; weiter hinaus wuchs bei demſelben Drucke die Dichte des ſchwefligſauren Gaſes ſchneller als die der atmoſphäriſchen Luft;

bei einer 3.27maligen Verdichtung war ſchon die tropfbare Flüſſigkeit bemerklich, welche letztere geliefert hat. Zur Anſtellung ſolcher Verſuche eignet ſich vorzüglich der oben (192) beſchriebene Compreſſionsapparat, in den man Röhren einſetzt, welche die zu vergleichenden Gaſe enthalten und durch Queckſilber geſperrt ſind.

245. Mit Hülfe des Mariotte'ſchen Geſetzes läßt ſich das Volum V eines bei einem gewiſſen Drucke B mit Flüſſigkeit abgeſperrten Gaſes auf jenes reduciren, welches es unter übrigens gleichen Umſtänden bei einem andern Drucke b einnehmen würde. Der Druck, von dem hier die Rede iſt, wird nicht allein durch die Barometerhöhe, ſondern auch durch den Stand der Sperrflüſſigkeit in und außer dem Recipienten beſtimmt. Nennt man das zu ſuchende Volum v, ſo iſt

$$v : V = B : b, \text{ mithin } v = \frac{VB}{b}.$$

Eben ſo kann man, wenn zwei Luftmaſſen bei einerlei Expanſivkraft E verſchiedene Volume V, V′ einnehmen, das Verhältniß ihrer Expanſivkraft finden, wenn ſie unter gleichen Umſtänden dasſelbe Volum, z. B. v, einzunehmen genöthiget werden. Nennt man nämlich die Expanſivkräfte der Gaſe in dem letzteren Falle e, e′, ſo hat man einerſeits $e : E = V : v$ und andererſeits $e' : E = V' : v$, mithin $e : e' = V : V'$, d. h. das zu ſuchende Verhältniß der Expanſivkräfte iſt jenem der gegebenen Luftvolume gleich.

246. Es iſt ſchon S 17 gezeigt worden, daß alle Körper durch Wärme eine Volumvergrößerung erfahren. Nun iſt aber klar, daß dieſes bei Gaſen nur dadurch möglich iſt, daß durch Temperaturerhöhung ihre Ausdehnſamkeit verſtärkt wird. Da ſich aber in dem Maße, als ſich ihr Volum vergrößert, die Dichte vermindert, und letztere im directen Verhältniß zu ihrer Ausdehnſamkeit ſteht; ſo geht hervor, daß die Spannkraft eines Gaſes in demſelben Verhältniſſe durch Erwärmung geſteigert werde, in welchem deſſen Volum zunimmt Man braucht demnach, um die Zunahme der Ausdehnſamkeit eines Gaſes durch Temperaturerhöhung zu beſtimmen, nur deſſen Volum bei der Ausgangs- und Endtemperatur zu meſſen. Zu demſelben Ziele gelangt man, wenn man das Gas, um welches es ſich handelt, durch Vermehrung des darauf wirkenden Druckes unter verſchiedenen Temperaturen bei demſelben Volum erhält, in welchem Falle ſich die drückenden Kräfte wie die Ausdehnſamkeiten verhalten.

247. Verſuche über die Vermehrung der Ausdehnſamkeit der Gaſe durch Wärme ſind von mehreren berühmten Gelehrten, wie Lambert, Dalton, Gay-Luſſac, Dulong, Petit, H. Davy und neueſtens von Rudberg, Regnault und Magnus mit beſonderer Genauigkeit angeſtellt worden. Seit mehreren Jahren (1802) galten die von Gay-Luſſac gefundenen Geſetze und Zahlenwerthe als ausgemachte Wahrheiten. Dieſem gemäß ſollen atmoſphäriſche Luft, ſo wie jedes andere Gas oder Gasgemenge unter conſtantem Drucke bei Aenderung ihrer Temperatur eine dem urſprünglichen Volum proportionirte Volumänderung erleiden, dieſe ſoll für alle Gaſe bei

derſelben Temperaturänderung gleich groß ſeyn und bei einer Aenderung von 0°—100° C. gleich 0.375 = $\frac{3}{8}$ des bei 0° Statt findenden Volums betragen, wornach für 1° C. eine Volumvermehrung von 0.00375 oder nahe $\frac{1}{267}$ des Volums bei 0° C. ſich herausſtellt. Dieſe Reſultate hielt man für ſo zuverläßiger, als ſie ſchon früher zum Theile von Lambert gefunden und von Dulong und Petit und H. Davy beſtätiget worden ſind. Erſt in neueſter Zeit hat Rudberg ihre Richtigkeit in Zweifel gezogen und durch eine Reihe ſehr genauer Verſuche den Ausdehnungscoefficienten nicht wie Gay-Luſſac 0,375, ſondern durchſchnittlich 0.3646 gefunden. Regnault und Magnus haben es in der Genauigkeit noch weiter getrieben und dieſe Größe für atmoſphäriſche Luft = 0.3665, zugleich aber auch für verſchiedene Gaſe kleine Abweichungen von dieſer Zahl gefunden, nämlich für Waſſerſtoffgas durchſchnittlich 0.3662, für Kohlenſäure 0.3690. Es iſt aber wohl möglich, daß dieſe Unterſchiede von der verſchiedenen Adhäſion der Gaſe an das Material des Gefäßes, welches beim Verſuche gebraucht wurde und der davon herrührenden Verdichtung einer kleinen Gasſchichte herrühren. Darum und weil die Unterſchiede jedenfalls ſehr klein ſind, dürfte es vor der Hand erlaubt ſeyn, den Ausdehnungscoefficienten für alle Gaſe gleich groß und zwar = 0.3665 oder nahe $\frac{11}{30}$ zu ſetzen.

Die Phyſiker, welche den Ausdehnungscoefficienten der Luft bei der Erwärmung vor Dalton und Gay-Luſſac unterſuchten, haben durchaus ein zu großes Reſultat gefunden, weil ſie die Luft nicht genug getrocknet haben. Gay-Luſſac hat zwar mit gut getrockneter Luft gearbeitet, doch ſcheint er die Ausdehnung des Gaſes nicht genau berückſichtiget zu haben. Beiden Fehlern hat Rudberg auszuweichen geſucht.

Gay-Luſſac hat ſeine Verſuche mit einer Thermometerröhre angeſtellt, die dem Raume nach in gleiche Theile getheilt und mit einer Kugel von bekannter Capacität verſehen war. Die Luft wurde durch ein mit Chlorcalcium gefülltes Rohr in dieſen Behälter eingelaſſen und dadurch vollkommen getrocknet, eine kleine Queckſilberſäule ſchloß die in der Röhre enthaltene Luft von der äußeren ab und diente zugleich als Zeiger für das Luftvolum. Der Apparat wurde in horizontaler Richtung in ein Waſſer- oder Queckſilberbad gebracht, erwärmt und bei den verſchiedenen Wärmegraden das Volum der Luft beobachtet. Rudberg hat ſeine Verſuche auf zweierlei Art angeſtellt, einmal bei beſtändigem Drucke und veränderlichem Volum, das andere Mal bei conſtantem Volum und veränderlichem Drucke; im erſten Falle hat er die Volumveränderung der Luft beim Abkühlen von 100° bis 0° C., im zweiten die Abnahme der Spannkraft bei demſelben Wärmewechſel beobachtet. Die Spannkraft der Luft bei der zweiten Verſuchsweiſe hat er durch eine Queckſilberſäule, welche mit der Luft in Communication ſtand, gemeſſen, das Volum bei der erſten Verſuchsart aber auf folgende Weiſe: Der dem Gay-Luſſac'ſchen ähnliche, nur am Ende in eine feine Spitze ausgezogene Gasbehälter wurde mit vollkommen getrockneter Luft gefüllt, dann in ein Gefäß gebracht, welches einem Siedapparate ähnlich war, mit welchem man die Siedpuncte der Thermometer zu beſtimmen pflegt und während er ſo tief im Waſſer ſtand, daß nur die äußerſte Spitze der Röhre herausragte, das Waſſer zum Sieden gebracht und faſt eine Stunde lang unterhalten, dann aber die

Spitze der Röhre zugeſchmolzen. Nun wurde der Apparat in ſchmelzenden Schnee gebracht, die Spitze der Röhre in Queckſilber getaucht und abgebrochen. Da drang nun nach Maßgabe der Erkältung Queckſilber in die Röhre. Sobald man glauben konnte, daß die Luft in derſelben auf 0° abgekühlt ſey, wurde die Glasſpitze unter Queckſilber mit Wachs verklebt, der Behälter auf die Wage gebracht und das Gewicht des eingedrungenen Queckſilbers beſtimmt. Dieſes mit dem Gewichte verglichen, das der ganze Apparat bei derſelben Temperatur faßte, führte zur Kenntniß des fraglichen Ausdehnungscoefficienten. Es mußte darum zum Schluſſe alle Luft aus dem Apparate ausgetrieben, derſelbe mit Queckſilber gefüllt und ſein Gewicht beſtimmt werden. Magnus hat ſich der zweiten vorerwähnten Rudberg'ſchen Methode bedient.

Das kleinſte der von Rudberg gefundenen Reſultate iſt 0.3636, das größte 0.3655, das Mittel daher 0.3646. Magnus hat als größten Werth des Ausdehnungscoefficienten 0.367899, als kleinſten 0.365032, als Mittelwerth 0.366508 gefunden. Der Durchſchnittswerth der von Regnault angeſtellten Verſuche iſt 0.3665. Regnault und Magnus haben ihre Verſuche noch auf andere Gaſe ausgedehnt. Erſterer hat für nachſtehende Gaſe den erſten der zwei beigeſetzten Werthe, letzterer den zweiten derſelben gefunden: Waſſerſtoffgas 0.365659; 0.36678, Kohlenſäure 0.369087; 0.36896, ſchweflige Säure 0.385618; 0.36696. (Dalton in Memoirs of the Literary and Phil. Soc. of Manchester. 5. 598. Gay-Luſſac in Gilb. Ann. 12. 257. Rudberg in Pogg. Ann. 41. 271; 44. 119. Magnus ebend. 55. 1; 57. 177. Regnault in Compt. rendu 13. 1077 oder Pogg. Ann. 55. 141; 391. 557; 57. 115.

248. Vergleicht man den Gang der Ausdehnung eines Gaſes in der Wärme mit jenem des Queckſilbers im Thermometer, ſo findet man beide zwiſchen dem Eis- und Siedpuncte völlig übereinſtimmend, über den Siedpunct hinaus dehnt ſich aber das Queckſilber raſcher aus als die Luft. Nach Rudbergs Verſuchen entſprechen einander folgende Volume:

Queckſilber . . .	100,	200,	300
Luft	100,	198.8,	294.7.

Ein Thermometer, welches ſtatt Queckſilber Luft enthält und durch die Ausdehnung der letzteren die Temperaturen angibt, ſcheint wegen der Abweſenheit aller molecularen Einwirkungen mit Ausnahme der Abſtoßung den Gang der Wärme ſelbſt anzugeben. Demnach wären die vorhin bezeichneten, durch ein Queckſilberthermometer angegebenen höheren Temperaturen nur ſo zu nehmen, wie ſie durch die Ausdehnung der Luft bezeichnet werden und überhaupt Luftthermometer die natürlichſten Anzeiger der Wärme. (Regnault in Pogg. Ann. 57. 199.)

249. Man erhält ein Luftthermometer, wenn man die in einem Gefäße von der Form eines Queckſilberthermometers befindliche Luft ſorgfältig trocknet, und dann in die Röhre eine kurze Queckſilberſäule bringt, durch welche eine die Kugel und einen Theil der Röhre ausfüllende Luftmaſſe von der äußeren Atmoſphäre abgeſperrt wird, übrigens aber die Röhre offen läßt. Man gibt ihm am beſten eine horizontale Lage und mißt immer vom innern Ende der Queckſilberſäule. Da das Volum der abgeſperrten Luft nicht bloß von der Temperatur derſelben, ſondern auch von dem äußeren Luftdrucke abhängt,

ſo muß die Röhre mit einer Volumſcale verſehen, und bei jeder Beobachtung der Barometerſtand mit demjenigen verglichen werden, auf den ſich die Beſtimmung des Eis- und Siedpunctes bezieht. Die Herſtellung der Volumſcale wird ſehr erleichtert, wenn die Röhre wohl calibrirt iſt. Soll das Inſtrument zur Angabe ſehr verſchiedener Temperaturen dienen, ſo muß auch auf die Ausdehnung des Glaſes geſehen werden. Man kann den Eispunct mit 0 bezeichnen und zwiſchen ihm und dem Siedpuncte 100 Grade zählen, oder beſſer die Scale ſo einrichten, daß die den einzelnen Temperaturen beigeſetzten Zahlen ſich verhalten wie die Expanſivkräfte, welche der Luft unter conſtanter Dichte bei dieſen Temperaturen zukommen, zu welchem Ende man den Eispunct mit 1000 zu bezeichnen und bis zu dem Siedpuncte 366 Grade zu zählen hat, ſo daß dem letzteren die Zahl 1366 entſpricht. Man kann auch annäherungsweiſe den Ausdehnungscoefficienten für 1° C. = $\frac{1}{273}$ ſetzen und dieſem gemäß den Eispunct des Luftthermometers mit 273 bezeichnen und den Fundamentalabſtand in 100 gleiche Theile getheilt denken, wornach der Siedpunct mit 373 bezeichnet wird. Im letzteren Falle beruht die Umwandlung der Angaben dieſes Thermometers in jene der gewöhnlichen Centeſimalſcale und umgekehrt auf der bloßen Subtraction und Addition der Zahl 273; im erſteren hingegen hat man, wenn L eine Temperaturangabe nach dem Luftthermometer und C die gleichbedeutende nach der gewöhnlichen hunderttheiligen Scale iſt,

$$L = 1000 + 3{,}64\ C \text{ und } C = \frac{L - 1000}{3{,}64}.$$

Der Einfluß des atmoſphäriſchen Druckes auf das Luftthermometer läßt ſich beſeitigen, wenn man die in dem Queckſilbergefäße eines Barometers enthaltene Luft von der äußeren, nachdem man ſie wohl getrocknet hat, durch Zuſchmelzen des Gefäßes abſperrt. Beim Gebrauche des Inſtrumentes, deſſen Scale man auf die ſo eben erklärte Weiſe einrichtet, hat man jedoch darauf zu ſehen, daß die Röhre eine verticale Lage habe, auch darf hier die Ausdehnung des Queckſilbers durch die Wärme nicht unbeachtet bleiben; endlich können die Aenderungen des Volums der abgeſperrten Luft bei verſchiedenem Stande des Queckſilbers in der Röhre nur in ſo ferne außer Acht gelaſſen werden, als der Durchmeſſer der Queckſilberfläche im Gefäße jenen der Röhre viele Male übertrifft.

Das vorhin beſchriebene, offene Luftthermometer kann zugleich zur Angabe der Dichte der Luft, mithin als Manometer gebraucht werden. Es hat nämlich die darin eingeſchloſſene atmoſphäriſche Luft einerlei Expanſivkraft mit der äußeren; haben nun beide einerlei Temperatur, ſo haben ſie auch einerlei Dichte. Verſieht man daher dieſes Inſtrument mit einer Scale, der das Volum der Luft bei 0° C. und 0,76 Met. Luftdruck als Einheit zum Grunde liegt; ſo gibt jedesmal der Bruch, welcher 1 zum Zähler und das Volum der Luft, wie es das Inſtrument angibt, zum Nenner hat, die geſuchte Dichte der Luft an, in ſofern man die Dichte derſelben bei 0° C. und 0,76 Met. Druck als Einheit betrachtet. Man kann zur Erſparung jeder Rechnung gleich die einzelnen Grade der Scale ſtatt mit der Volumzahl v, mit der Zahl $\frac{1}{v}$ bezeichnen, und dann die Dichte unmittelbar ableſen.

250. Die Kenntniß der Ausdehnungsgeſetze der Gaſe ſetzt uns in den Stand, das Volum eines Gaſes bei jeder beliebigen Temperatur auf die Normaltemperatur 0° C. zu reduciren, ſo wie dieſes das Mariotte'ſche Geſetz bezüglich des Normaldruckes zu thun erlaubt. Iſt α der Ausdehnungscoefficient eines Gaſes, t die Temperatur eines ſolchen nach dem Queckſilberthermometer, v das dieſer Temperatur entſprechende Volum, und V das Volum bei 0° C.; ſo hat man $v = V(1 + \alpha t)$, und daher $V = \frac{v}{1+\alpha t}$. Entſpricht dieſes Volum dem Drucke B und iſt das dem Normaldrucke b entſprechende Volum $= V'$, ſo hat man $V' = V \cdot \frac{B}{b} = \frac{v}{1+\alpha t} \cdot \frac{B}{b}$, wornach das Volum auf den Normaldruck und die Normaltemperatur reducirt erſcheint.

251. Gaſe von verſchiedener materieller Natur haben auch bei derſelben Dichte und Temperatur eine verſchiedene Ausdehnſamkeit. Waſſerſtoffgas hält ſchon bei einer Dichte, die nur $^1/_{14}$ von jener der atmoſphäriſchen Luft beträgt, dem Drucke dieſer das Gleichgewicht, und Kohlenſäuregas bedarf hiezu einer $1^1/_2$mal größeren Dichte als atm. Luft. Man ſchreibt darum jedem Gaſe eine beſondere ſpecifiſche Ausdehnſamkeit zu und ſetzt dieſelbe der Expanſivkraft proportional, die das Gas bei einer beſtimmten Temperatur und Dichte beſitzt. Dieſem nach iſt die ſpecifiſche Ausdehnſamkeit des Waſſerſtoffgaſes 14mal größer als die der atm. Luft. Die abſolute Ausdehnſamkeit iſt die ohne Beziehung auf eine beſtimmte Dichte und Temperatur. Bezeichnen d und d' die Dichten zweier Gaſe, t und t' ihre Temperaturen nach dem Queckſilberthermometer mit Rückſicht auf die etwa nach 248 nöthigen Correctionen, e und e' die ſpecifiſchen und E, E' die abſoluten Ausdehnſamkeiten; ſo hat man offenbar

$$E : E' = d(1 + \alpha t)\, e : d'(1 + \alpha t')\, e',$$

wobei α den Ausdehnungscoefficienten der Gaſe bedeutet.

252. Bei vielen phyſikaliſchen Arbeiten braucht man ein Mittel, die Luft in einem Raume zu verdünnen oder zu verdichten. Ein ſolches bietet die ſogenannte Luftpumpe dar. Dieſe wurde von Otto Guerike, einem Deutſchen, im Jahre 1650 erfunden und iſt ſeitdem der Gegenſtand vieler Verbeſſerungsverſuche geweſen. Wir beſchränken uns hier auf die Angabe der einfachſten, zweckmäßigſten und daher auch im allgemeinen Gebrauche befindlichen Formen. Die weſentlichen Beſtandtheile der Luftpumpe ſind: 1) Ein hohler, inwendig ſehr glatter Cylinder A (Fig. 72), von Glas oder Metall (der Stiefel), dem man in der Regel eine verticale Lage gibt, und in deſſen Höhlung 2) ein Kolben oder Stempel B luftdicht paßt und mittelſt eines durch eine Kurbel oder einen Hebel hin und her zu drehenden Rades, deſſen Zähne in jene der Kolbenſtange eingreifen, auf und ab bewegt werden kann. Von dem Boden des Stiefels führt ein Kanal zu einer wohl abgeſchliffenen Platte C, dem Teller, worauf meiſtens eine ſtarke Glasglocke, der Recipient, zu ſtehen kommt; doch iſt es

manchmal auch nöthig, ein kugelförmiges gläſernes oder metallenes Gefäß an das Ende der Röhre zu ſchrauben. Der Stiefel iſt noch 3) mit einer Vorrichtung verſehen, um nach Bedürfniß eine Communication zwiſchen ihm und dem Recipienten oder der äußeren Luft herzuſtellen oder abzuſperren. Dieſe Vorrichtung iſt in der Regel entweder ein Hahn mit ſolchen Bohrungen, daß nach Maßgabe ſeiner Stellung jedem dieſer Zwecke entſprochen wird; man kann ihn aber auch durch einen Schieber mit den erforderlichen Löchern oder Einſchnitten oder durch zwei Ventile erſetzen, wovon eines jedenfalls am Boden des Stiefels, das andere aber meiſtens im Kolben ſich befindet, welcher in dieſem Falle durchbohrt iſt. Nach der Verſchiedenheit dieſer Vorrichtung zum Behufe der Communication zwiſchen den vorgenannten Haupttheilen der Luftpumpe unterſcheidet man zwei Arten derſelben, nämlich: Hahn- und Ventilluftpumpen. In beiden Formen enthält die Luftpumpe entweder einen oder zwei Stiefel, und heißt darnach eine ein- oder zweiſtiefelige. Die Leitung der Ventile bedarf keiner beſonderen Hülfe von Seite des Operirenden, ſondern wird durch den Gang der Maſchine ſelbſt bewirkt; die Bewegung des Hahnes aber iſt bei manchen Inſtrumenten ganz den Händen des Experimentators überlaſſen; doch läßt ſie ſich auf eine einfache Weiſe durch den Druck der Kurbel gegen einen mit dem Hahne D verbundenen beweglichen Anſatz E bewirken.

253. Wir machen hier mit der Betrachtung der Hahnluftpumpen den Anfang. Der Hahn D (Fig. 72) iſt mit zwei Bohrungen verſehen, wovon die eine xy (Fig. 73 a) quer durch ſelben geht, die andere uwz (Fig. 73 b) aber 90 Grade weit von den Mündungen der erſteren anfängt, bis zur Mitte des Hahnkörpers geht und dann der Richtung ſeiner Längenaxe folgt. Gibt man dem Hahne die Stellung a, ſo befindet ſich der Stiefel in Verbindung mit dem Recipienten; erhält der Hahn die Stellung b, ſo iſt der Recipient abgeſchloſſen und der Stiefel ſteht mit der äußeren Luft in Communication. Man kann mit einer ſolchen Luftpumpe nach Gefallen die Luft in dem auf den Teller gut paſſenden Recipienten verdünnen oder verdichten. Das Verdünnen geſchieht auf folgende Art: Man richtet den Hahn ſo, daß vom Recipienten Luft in den Stiefel gelangen kann, und zieht den Kolben in die Höhe. Hierauf ſtellt man durch Drehen des Hahnes die Communication zwiſchen der äußeren Luft und der inneren im Stiefel her, drückt den Kolben hinab und wiederholt das ganze Verfahren, ſo oft man will und es der Zweck erfordert. Soll atm. Luft in einem Gefäße verdichtet werden, ſo befeſtiget man letzteres ſtark und luftdicht auf dem Teller, dreht den Hahn ſo, daß Luft von außen in den Stiefel dringen kann, und hebt den Kolben, dreht dann den Hahn, um der Luft im Stiefel den Eintritt in den Recipienten zu verſchaffen, drückt den Kolben hinab und wiederholt dieſes Verfahren, ſo oft man es für nöthig hält oder es die Feſtigkeit des Gefäßes erlaubt. Die Einrichtung einer zweiſtiefeligen Hahnluftpumpe bedarf keiner beſonderen Erklärung; ſie iſt nichts weiter als die Verbindung

zweier einſtiefligen, deren Luftkanäle vor dem Teller ſich vereinigen. Da ein Stempel hinauf geht, während der andere abwärts getrieben wird, ſo geht die Verdünnung oder Verdichtung in einem fort und man bewirkt in halber Zeit das, wozu bei einer einſtiefligen Pumpe die ganze erfordert wird.

254. Sowohl dem Verdünnen als dem Verdichten der Luft durch eine Hahnluftpumpe ſetzt der zwiſchen dem Boden des Stiefels und dem Hahne befindliche Raum eine Grenze, indem die atm. Luft zu demſelben Zutritt erhält, ohne bei dem tiefſten Stande des Kolbens daraus vertrieben werden zu können, und den man ſchädlichen Raum nennt. Iſt nämlich die Luft im Recipienten bereits ſo dünn, wie es die im ſchädlichen Raume enthaltene wird, wenn ſie ſich bei dem Aufziehen des Kolbens in den Stiefel ausbreitet, ſo fällt jeder Grund zum Uebertritte irgend eines Lufttheilchens aus dem Recipienten in den Stiefel, mithin die weitere Verdünnung weg. Oder da der ſchädliche Raum nicht vom Kolben erreicht werden kann; ſo wird die Luft nur ſo weit verdünnt werden können, bis ein Volum derſelben, das den ganzen Stiefel ausfüllt, in den ſchädlichen Raum zuſammengedrückt, eine Dichte hat, welche jener der äußeren Luft gleich kommt, weil in dieſem Falle beim Hineinſtoßen des Kolbens keine Luft aus dem Stiefel mehr getrieben werden kann. Allein es iſt klar, daß ſelbſt jene Verdünnung nie vollkommen erreicht wird, ſondern daß man im günſtigſten Falle, nämlich wenn das Inſtrument völlig luftdicht ſchließt, ſich ihr nur nach einer unzählbaren Menge von Kolbenzügen ſo weit nähert, daß die Differenz zwiſchen dem vorhandenen Zuſtande der Luft und dieſer Grenze unmerklich iſt. Auch die Verdichtung kann nur beinahe ſo weit gebracht werden, bis die im Stiefel enthaltene Luftmaſſe von der Dichte der äußeren Luft, durch Zuſammendrücken in den ſchädlichen Raum, die Dichte derjenigen erreicht, welche im Recipienten eingeſchloſſen iſt. Nennen wir die Größe des ſchädlichen Raumes s, die Größe des Stiefels ſammt ſchädlichen Raum S, ſo iſt die äußerſte Grenze der Verdünnung der Bruchtheil $\frac{s}{S}$ und die äußerſte Grenze der Verdichtung das $\frac{S}{s}$fache der Dichte der äußeren Luft.

Die Vollkommenheit einer Hahnluftpumpe hängt nebſt ihrem luftdichten Verſchluſſe vornehmlich davon ab, daß der ſchädliche Raum gegen den Stiefel ſehr klein ſey, weßwegen man den Hahn möglichſt nahe an den Stiefel ſetzt und dem Kolben eine ſolche Form gibt, daß er beim Hinabgehen den Raum von ihm bis zum Hahne möglichſt vollſtändig ausfüllt. Da der ſchädliche Raum einer Hahnluftpumpe während des Verdünnens bei jedem Kolbengange mit der äußeren Luft in Verbindung tritt, ſo iſt leicht einzuſehen, daß bei einer doppeltſtiefligen Pumpe, deren Stiefel von ungleicher Wirkſamkeit ſind, der Erfolg nur ſo weit geht, als ihn der minder wirkſame Stiefel zu leiſten vermag. Man kann der Größe des dadurch entſtehenden ſchädlichen Raumes ungeachtet, beiden Stiefeln einen gemeinſchaftlichen Hahn geben, wenn man nur daran nach der von Graßmann erdachten Einrich-

tung eine ſolche Bohrung anbringt, daß der Stiefel, in welchem der Stempel zu Boden gedrückt iſt (deſſen ſchädlicher Raum alſo mit der äußeren Luft in Verbindung ſteht), ehe er mit dem Recipienten in Communication geſetzt wird, zuerſt durch eine Mittelſtellung des Hahnes, mit dem andern, verdünnte Luft enthaltenden Stiefel in Verbindung tritt, und ſich ſo eines bedeutenden Theiles der Luft in ſeinem ſchädlichen Raume entlediget. Zu demſelben Zwecke läßt ſich auch ſtatt des Hahnes ein Schieberventil, das die nöthigen Communicationen darbietet, in Anwendung bringen.

255. Zum Verdichten der Luft bedient man ſich gerne einer ſogenannten Compreſſionspumpe. Sie beſteht aus einem hohlen Cylinder (Fig. 74), der in B mit einem Schraubengewinde verſehen iſt, um ihn an den Recipienten anſchrauben zu können. Ober dieſem hat er ein Ventil, das ſich von innen nach außen öffnet, und nicht weit vom oberen Ende eine Oeffnung C. In die Höhlung des Cylinders paßt der Kolben. Beim Gebrauche befeſtiget man die Pumpe an den Recipienten, erhebt den Kolben bis über die Oeffnung C, drückt ihn bis zum Boden herab, und wiederholt dieſes Verfahren dem Zwecke gemäß. Soll irgend eine andere künſtlich erzeugte Luftart verdichtet werden, ſo braucht man nur an C eine mit dieſer Luft gefüllte Blaſe zu befeſtigen und dann wie vorhin zu verfahren.

Da das Comprimiren der Luft in Gefäßen, die einem ſtarken Drucke nicht gewachſen ſind, gefährlich werden kann, ſo läßt ſich durch Anordnung des ſchädlichen Raumes (der hier aber ein nützlicher wird) bewirken, daß die Verdichtung der Luft auch von einem Unkundigen nicht über die gehörige Grenze getrieben werden kann.

256. Wo es ſich um raſche, aber nicht ſehr weit getriebene Luftverdünnung handelt, wendet man eine der beſchriebenen Vorrichtung ähnliche Ventil-Handpumpe an. Statt der Seitenöffnung C befindet ſich entweder eine Oeffnung am Boden des Cylinders, und iſt mit einem nach außen ſich öffnenden Ventil geſchloſſen, oder es iſt der Stempel durchbohrt und trägt ein ſolches Ventil; ein zweites Ventil ſperrt den Eingang zum Recipienten, läßt aber aus dieſem Luft in den Stiefel treten. Wird der Kolben nach außen gezogen, ſo ſchließt der äußere Luftdruck das erſtere Ventil, zugleich öffnet die Luft im Recipienten in Folge ihrer Spannkraft das andere, und ein Theil dieſer Luft geht in den Stiefel; wird der Kolben in den Stiefel zurückgeſchoben, ſo verſchließt ſich letzteres Ventil und das erſtere öffnet ſich, durch welches die Luft aus dem Stiefel entweicht, ſobald ſie nämlich, indem ſie in dem Stiefel zuſammengedrängt wird, eine Spannkraft bekommen hat, welche hinreicht, ſowohl den äußeren atmoſphäriſchen Druck, als auch den Widerſtand des Ventils zu überwinden. Wenn gleich hier der ſchädliche Raum ſehr klein gemacht werden kann, ſo tritt dafür der Umſtand ein, daß endlich die Luft im Stiefel das zum äußeren Raume führende Ventil, und eben ſo die Luft im Recipienten, das zum Stiefel führende nicht mehr zu öffnen vermag, wodurch der weiteren Verdünnung bald eine Grenze geſetzt iſt.

Zu genaueren Verſuchen dient vornehmlich die Einrichtung, welche

Fortin den Ventilluftpumpen gegeben hat (Fig. 75). Der Stempel iſt zweifach durchbohrt; die eine Durchbohrung enthält das beim Niedergange des Kolbens nach außen ſich öffnende Ventil, durch die andere Bohrung geht eine dünne Stange luftdicht, die am unteren Ende einen Stöpſel trägt, der in eine am Boden des Stiefels befindliche, zum Recipienten führende Oeffnung genau paßt und ſelbe bei dem Niedergange des Kolbens verſchließt. Wird der Kolben gehoben, ſo geht dieſe Stange mit, und die Luft kann aus dem Recipienten in den Stiefel treten. Hiernach ſieht man leicht, wie durch abwechſelndes Spiel des Kolbens die Luft im Recipienten nach und nach dünner wird.

Ventilluftpumpen ſtehen den Hahnluftpumpen in ſofern nach, als ſie bei der gewöhnlichen Einrichtung ſich nicht zugleich zum Verdünnen und Verdichten der Luft gebrauchen laſſen; da jedoch letztere Operation ſelten vorkommt und ſich mittelſt der einfachen Compreſſionspumpe leicht vollziehen läßt, ſo iſt dieſer Mangel nicht erheblich. Dagegen beſitzen Ventilluftpumpen eine einfachere Conſtruction, und es fällt die Steuerung des Hahnes weg. Allein die Vortheile der Ventilluftpumpen treten vorzüglich hervor, wenn man ſelbe mit zwei Stiefeln verſieht. Da der ſchädliche Raum, wenn die Verdünnung der Luft ſo weit gediehen iſt, daß das Kolbenventil nicht mehr gehoben wird, von der äußeren Luft abgeſperrt bleibt, ſo bringt eine ſolche Pumpe immer den Effect hervor, welchen der beſſere Stiefel für ſich zu erzeugen im Stande war, im Gegenſatze mit dem, was bei Hahnluftpumpen obwaltet. Ferner hilft der auf den einen Stempel bei ſeinem Niedergange wirkende Luftdruck zum Theil die Laſt überwinden, welche aus dem Luftdrucke auf den andern Stempel bei ſeinem Aufziehen erwächſt.

Eine beſondere Brauchbarkeit haben die Ventilluftpumpen durch eine von **Babinet** erdachte Verbeſſerung erhalten, welche die Verdünnung auf einen bisher nicht gekannten Grad zu treiben geſtattet. Es wird nämlich, wenn bei der gewöhnlichen Handhabung der zweiſtiefligen Luftpumpe die Verdünnung der Luft ſo weit gebracht worden iſt, daß das Spiel der Kolbenventile aufhört, durch bloße Aenderung der Stellung eines Hahnes die Communication des einen Stiefels mit dem Recipienten unterbrochen, und dafür eine eigene Verbindung zwiſchen beiden Stiefeln hergeſtellt, ſo daß nun bloß der andere Stiefel aus dem Recipienten Luft aufnimmt, der erſte Stiefel dagegen aus dem zweiten Luft ſaugt. Dieſer Hahn iſt an dem Einathmungsorte der von den Stiefeln ausgehenden Kanäle in den zum Recipienten führenden Gang angebracht. Die Fig. 76, in welcher zur Erleichterung der Ueberſicht die beiden Stiefel aus der verticalen Lage in die horizontale verſetzt, und die Dimenſionen des Hahnes vergrößert dargeſtellt erſcheinen, wird hierüber Aufſchluß geben. Bei der gewöhnlichen Anordnung der Luftpumpe ſtehen die beiden Stiefel A, B mit dem Recipienten, zu dem der Weg c d führt, durch die Canäle x y a und u v b, die Bohrung des Hahnes a b in Verbindung, und die Stiefel ſchöpfen abwechſelnd aus dem Recipienten. Soll aber die **Babinet**'ſche Anordnung wirkſam werden, ſo wird der Hahn in die Poſition II. verſetzt. Hier iſt der Weg a b (I) vom Stiefel B zum Recipienten abgeſperrt, dagegen eröffnet ſich die Communication f e (II) zwiſchen beiden Stiefeln, während die Verbindung des Stiefels A mit dem Recipienten durch den Canal x y c d unterhalten wird. Geht der Stempel in A in die Höhe, ſo tritt aus dem Recipienten Luft in den Stiefel A und die Luft in B wird in den ſchädlichen Raum zuſammengepreßt,

und kann ſich bei hinreichender Expanſivkraft das Ventil im Stempel öffnen; bei dem Herabgehen des Stempels A wird die Luft aus A nach B getrieben. Iſt s der ſchädliche Raum des Stiefels B, der Inhalt dieſes Stiefels ſammt ſchädlichem Raum S, ſo iſt bei der gewöhnlichen Anordnung $\frac{s}{S}$ die Grenze der Luftverdünnung im Recipienten. Bei der Babinet'ſchen iſt ſie, wenn s' den ſchädlichen Raum des Stiefels A (zu welchem ſchädlichen Raume der Canal zefvu mitgehört), und S' das Volum des Stiefels A ſammt ſchädlichen Raum bezeichnet, die Grenze der Luftverdünnung $= \frac{s\,s'}{S\,S'}$ alſo kleiner als $\frac{s\,s'}{S^2}$. Iſt z. B. der Canal zefvu der $\frac{1}{100}$ Theil von dem Volum jedes der Stiefel, und gilt der ſchädliche Raum wegen der Laſt des Kolbenventiles für eben ſo groß, ſo geht die Verdünnung wenigſtens bis zum $\frac{1}{10000}$ Theile der Dichte der äußeren Luft. (Ueber Luftpumpen handelt ausführlich Gehler's Wörterbuch neu bearbeitet Bd. 6. Abth. 1.)

257. Der Hauptnutzen der Luftpumpe für den Phyſiker beruht auf der damit möglichen Verdünnung der Luft. Es iſt dabei unerläßlich, in jedem Augenblicke zu wiſſen, wie weit dieſe gediehen ſey. Dazu dient die Barometerprobe, ein kurzes, meiſtens heberförmiges Barometer, welches man unter den Recipienten ſetzt, wenn nicht, wie es in der Regel geſchieht, ſchon vom Künſtler die Barometerprobe F (Fig. 72) an der Seite des Tellers als bleibender Beſtandtheil der Luftpumpe angebracht iſt und damit nach Gefallen in Verbindung geſetzt werden kann, was ſchon aus dem Grunde dringend nöthig iſt, weil nicht jedes Gefäß, aus dem man die Luft zu ziehen beabſichtiget, die Einbringung der Barometerprobe geſtattet. Die Höhe a der in jedem Augenblicke von der Luft im Recipienten getragenen Queckſilberſäule gibt die unter demſelben herrſchende Spannkraft der Luft an; wird nun bei dem äußeren Barometerſtande b experimentirt, ſo iſt $\frac{a}{b}$ die Dichte der Luft im Recipienten, oder es iſt die Luft im Recipienten $\frac{b}{a}$ mal verdünnt, in ſoferne man nämlich die Dichte der äußeren Luft als die Einheit betrachtet. Doch ſetzt dieſe Angabe voraus, daß man es mit trockener Luft zu thun habe. Zur Beurtheilung des Antheiles der Dünſte an dem Gange der Verſuche mit einer Luftpumpe wird die Folge verhelfen.

Soll eine Luftpumpe zu feineren phyſikaliſchen Experimenten brauchbar ſeyn, ſo muß ſie bei 28 Zoll Barometerſtand die Queckſilberſäule wenigſtens auf 1 Linie herabbringen, d. h. ſie muß eine 300malige Verdünnung der Luft geſtatten. Eine Barometervorrichtung mit zweiſchenkliger Röhre kann auch zur Wahrnehmung des Grades der Verdichtung der Luft oder eines andern Gaſes verwendet werden, nur muß der geſchloſſene Schenkel etwas Luft enthalten. Mißt man das Volum derſelben vor und bei dem Verſuche und reducirt es wegen des ungleichen Queckſilberſtandes in beiden Schenkeln auf die Spannung der Luft im Recipienten, ſo zeigt der Quotient beider Volume die bewirkte Verdichtung an.

258. Unter den vielen Verſuchen, die ſich mit der Luftpumpe anſtellen laſſen, beweiſen folgende die Ausdehnſamkeit und den damit zuſammenhängenden Druck der atmoſphäriſchen Luft und gehören demnach hieher: 1) Eine ſchlaffe zugebundene Blaſe ſchwillt unter dem Recipienten an, wenn man die Luft verdünnt und hebt ein bedeutendes Gewicht. 2) Ein ſchwaches, geſchloſſenes, mit Luft gefülltes Gefäß zerſpringt daſelbſt. 3) Das Queckſilber in einem Barometer fällt in verdünnter Luft nach Maßgabe der Verdünnung. 4) Der Recipient haftet nach Verdünnung der Luft feſt auf dem Teller. 5) Metallene hohle Halbkugeln (Magdeburgiſche Halbkugeln, nach Guericke's Wohnort ſo genannt) können nur mit einer bedeutenden Gewalt getrennt werden, wenn man in ihnen die Luft verdünnt. 6) Iſt der Recipient oben durch eine Blaſe geſchloſſen, ſo wird dieſe eingedrückt. 7) Iſt er oben mit einem hölzernen Becher verſehen, der Queckſilber enthält, ſo wird dieſes durch das Holz gedrückt. 8) Ein Gefäß mit einer engen Mündung läßt ſich, wenn dieſe unter Waſſer taucht, unter dem Recipienten damit füllen, indem anfänglich beim Verdünnen Luft aus dem Gefäße entweicht, und dann bei dem Zulaſſen der Luft unter den Recipienten Waſſer in das Gefäß getrieben wird. Mittelſt der Luftpumpe läßt ſich auch ein Beweisgrund des Vorhandenſeyns der Poroſität der Körper darlegen, denn 9) viele Flüſſigkeiten und auch feſte Körper geben in verdünnter Luft eine Menge Luftblaſen von ſich. Eben ſo läßt ſich die Gleichheit der Schwere der Körper zeigen, denn 10) ganz ungleichartige Körper, z. B. eine zarte Feder, ein Papier= oder Metallſtückchen fallen in verdünnter Luft gleich ſchnell; ein Fallſchirm iſt da wegen der beträchtlichen Verminderung des Widerſtandes der Luft ganz unwirkſam.

B. Schwere, ſpecifiſches Gewicht und Dichte der Gaſe.

259. Daß jedes Gas ſchwer iſt, läßt ſich auf das augenſcheinlichſte durch einen Verſuch mit der Luftpumpe beweiſen. Wägt man nämlich ein mit was immer für einer Luftart gefülltes Gefäß ab, verdünnt hierauf die Luft in ſelbem und bringt es wieder an die Wage, ſo findet man es leichter. Dasſelbe Verfahren kann, mit gehöriger Genauigkeit geübt, ſelbſt zur Ausmittlung des ſpecifiſchen Gewichtes der Luftarten angewendet werden. Man nimmt einen Ballon, der wenigſtens 250 — 300 Kubikzoll faßt, mit einem Hahne luftdicht verſchloſſen und an eine gute Luftpumpe angeſchraubt werden kann. Nachdem man in demſelben die Luft ſo ſtark als möglich verdünnt hat, ſchließt man den Hahn, bringt den Ballon an eine empfindliche Wage, bemerkt ſein Gewicht $= P$, öffnet hierauf den Hahn und beſtimmt ſein Gewicht $= P'$ von neuem. Setzt man voraus, daß durch die Luftpumpe ein ganz luftleerer Raum erzeugt wurde; ſo iſt $P' - P$ das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft. Kennt man das Volum V des Ballons; ſo iſt $\frac{P' - P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht der atmoſphäriſchen Luft. Auf dieſe Weiſe überzeugte man ſich, daß ein Kubikfuß atm. Luft bei

0° C. und einem Luftdrucke von 760 Millimeter 564 Gran W. G., mithin ein Kubikzoll 0,326 Gr. wiege. Es iſt daher die atm. Luft bei 0° C. und 760 M. M. Druck nahe 770mal (genauer 769,44mal) leichter als Waſſer. Läßt man in den Ballon ſo, wie er nach Verdünnung der Luft an der Wage hängt und das Gewicht P hat, ſtatt atm. Luft irgend eine andere Luftart eindringen, und findet jetzt deſſen Gewicht = Q; ſo iſt $\frac{Q-P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht des Gaſes, welches ſich im Ballon befindet. Handelt es ſich bloß um Vergleichung der Dichte d eines Gaſes mit jener der atmoſphäriſchen Luft unter gleichen Umſtänden, in welchem Falle man der Einfachheit wegen die Dichte der atm. Luft als Einheit annimmt; ſo iſt man der ſchwierigen Volumsbeſtimmung des Ballons überhoben. Denn das Verhältniß der Gewichte P′ — P und Q — P der Luft und des Gaſes iſt auch jenes ihrer Dichten, ſo daß man hat $d : 1 = Q - P : P' - P$, mithin

$$d = \frac{Q - P}{P' - P}.$$

Alle dieſe Verſuche ſetzen voraus, daß die Luftarten ganz rein ſeyen, daß ihre Dichte und die Capacität des Ballons, ſo wie ſein Gewicht in der Luft, unverändert bleiben, und daß mittelſt der Luftpumpe ein völlig luftleerer Raum erzeugt werden könne, lauter Dinge, die in der Wirklichkeit nicht Statt finden; denn die Luftarten enthalten immer eine größere oder geringere Menge von Waſſerdünſten, die auf ihr ſpecifiſches Gewicht einen nicht unbedeutenden Einfluß haben, dieſes ändert ſich mit dem Drucke der äußeren Luft und mit ihrer Temperatur, letztere hat ſogar auf die Capacität des Gefäßes und auf ſein Gewicht in der Luft einen Einfluß, der zwar ſehr gering iſt, und daher manchmal überſehen werden kann, bei ſehr genauen Verſuchen aber doch in Anſchlag gebracht werden muß. Aus dieſem Grunde wählt man zu Verſuchen dieſer Art nur ſolche Luft, die vorher gut ausgetrocknet wurde, und arbeitet nur bei einer beſtimmten Temperatur und bei einem beſtimmten Luftdrucke oder reducirt die unter andern Umſtänden erhaltenen Reſultate auf die Normaltemperatur und auf den Normaldruck. Iſt nämlich S das ſpecifiſche Gewicht, welches man bei der Temperatur t und unter dem Luftdrucke B gefunden hat, s das auf die Normaltemperatur 0° C. und den Normaldruck b reducirte, ferner V das Volum einer beſtimmten Gasmaſſe bei der Temperatur t und dem Drucke B, hingegen V′ dasſelbe unter dem Normaldrucke und bei der Normaltemperatur; ſo iſt

$$S : s = V' : V \text{ und daher } s = \frac{SV}{V'}.$$

Aber (nach 250) $V' = \frac{V}{1 + \alpha t} \cdot \frac{B}{b}$, mithin

$$s = S\,(1 + \alpha t)\,\frac{b}{B}.$$

260. Man kann die Dichte eines Gaſes auch unmittelbar aus ſeiner chemiſchen Zuſammenſetzung berechnen, wenn die Dichten der Beſtandtheile und das Verhältniß, in welchem ſie ſich zu dem gegebenen Gaſe verbinden, ſo wie die etwa bei der Verbindung eintretende Volumveränderung gegeben ſind. Geſetzt es beſtehe ein Gas aus a Raum-

theilen eines Stoffes, deſſen Dichte d iſt, und aus a′ Raumtheilen eines ſolchen, deſſen Dichte d′ heißt, mithin im Ganzen aus a + a′ Raumtheilen. Da iſt nun a d die Maſſe des einen, a′d′ die Maſſe des andern Beſtandtheiles, a d + a′d′ die Maſſe des Ganzen und $\frac{a\,d + a'd'}{a + a'}$ die Maſſe des letzteren unter dem Volum = 1, alſo die Dichte des zuſammengeſetzten Gaſes, falls bei der Verbindung der beiden Beſtandtheile keine Ausdehnung oder Zuſammenziehung erfolgt iſt. Findet aber das eine oder das andere Statt, ſo ändert ſich dadurch dieſe Dichte des Gaſes. Geſetzt es ſey bei der chemiſchen Verbindung der Beſtandtheile das Volum a + a′ in A übergegangen, ſo iſt, wenn man die Dichte des Gaſes mit D bezeichnet:

$$D = \frac{a\,d + a'd'}{A}.$$

Folgende Beiſpiele mögen zur Erläuterung des Gebrauches dieſer Formel dienen: 2 Volume Stickſtoffoxydgas (Salpetergas) enthalten 1 Volum Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas von gleicher Temperatur und Spannung. Die Dichte des Stickgaſes iſt 0.976; die Dichte des Sauerſtoffgaſes 1.1026, wenn die Dichte der atmoſphäriſchen Luft als Einheit angenommen wird. Es iſt alſo hier

$$a = 1,\quad d = 0.976,$$
$$a' = 1,\quad d' = 1.1026 \quad \text{und}\quad A = 2;$$

mithin die Dichte des Stickſtoffoxydgaſes

$$D = \frac{a\,d + a'd'}{A} = 2.0786 : 2 = 1.0393.$$

2 Volume Stickſtoffoxydulgas beſtehen aus 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas. In dieſem Falle iſt

$$a = 2,\quad d = 0.976,$$
$$a' = 1,\quad d' = 1.1026 \quad \text{und}\quad A = 2;$$

mithin die Dichte des Stickſtoffoxydulgaſes

$$D = 3.0546 : 2 = 1.5273.$$

2 Volum Ammoniakgas werden durch Vereinigung von 3 Volum Waſſerſtoffgas (deſſen Dichte 0.0688 iſt) und 1 Vol. Stickgas gebildet. Setzt man

$$a = 3,\quad d = 0.0688,$$
$$a' = 1,\quad d' = 0.976;$$

ſo folgt hieraus, wegen A = 2, die Dichte des Ammoniakgaſes

$$D = 1.1824 : 2 = 0.5912.$$

Alle dieſe Reſultate ſtimmen mit den durch directe Wägungen gefundenen gut überein.

261. Da die hier betrachteten Dichten der Gaſe ſich auf einen gleichen Luftdruck und auf gleiche Temperaturen beziehen, ſo ſtehen ſie im verkehrten Verhältniſſe der ſpecifiſchen Expanſivkräfte (251), und man kann letztere leicht aus erſteren finden, wenn man die ſpecifiſche Expanſivkraft irgend eines Gaſes zur Einheit wählt. In der Regel ſetzt man die ſpecifiſche Expanſivkraft der atmoſphäriſchen Luft = 1. Da nun die Dichte derſelben = 1 iſt, ſo hat man, wenn e und d die ſpecifiſche Expanſivkraft und Dichte eines anderen Gaſes vorſtellen,

$$e : 1 = 1 : d;\ \text{mithin}\ e = \frac{1}{d}.$$

Sind daher E, E′ die Expanſivkräfte, welche zwei Gaſe bei den Dichten D, D′ und den nach dem Luftthermometer gemeſſenen Temperaturen t, t′ zeigen, ferner d, d′ ihre Dichten bei irgend einer für beide Gaſe gleichen Spannkraft und Temperatur, ſo folgt aus 251:

$$E : E' = \frac{D\,t}{d} : \frac{D't'}{d'} \text{ oder auch } D : D' = \frac{E\,d}{t} : \frac{E'd'}{t'}.$$

In dem beſonderen Falle, wenn beide Gaſe einerlei Temperatur beſitzen, alſo $t = t'$ iſt, gilt demnach die Proportion

$$D : D' = E\,d : E'd'.$$

Folgende Tabelle gibt die Werthe von d und e für einige Gaſe, wobei jedoch in Betreff der Dichten der Gaſe den Reſultaten einer auf verläßliche Principien gegründeten Rechnung vor den Ergebniſſen directer Wägungen, bei welchen die Vermeidung beträchtlicher Fehler in vielen Fällen äußerſt ſchwierig iſt, der Vorzug eingeräumt wurde. Die Dichten der leichter condenſirbaren Gaſe, als des ſchwefligſauren, des Cyangaſes ꝛc. ſtehen zu jener der atm. Luft bei ſtärkerem Drucke in einem anderen Verhältniſſe, und zwar erſcheinen die Dichten dieſer Gaſe größer, als ſelbe in der Tabelle angegeben werden, weil die Molekel, wenn ſich die Gaſe dem Condenſationspuncte nähern, mehr an einander rücken, als es nach dem Mariotte'ſchen Geſetze ſeyn ſollte. (Vergl. 244.)

Gaſe.	Dichte.	Specifiſche Expanſivkraft.
Atmoſphäriſche Luft	1.0000	1.0000
Sauerſtoffgas	1.1026	0.9069
Stickgas	0.9760	1.0246
Waſſerſtoffgas	0.0688	14.535
Chlorgas	2.440	0.4098
Stickſtoffoxydulgas	1.5273	0.6547
Stickſtoffoxydgas	1.0393	0.9622
Ammoniakgas	0.5912	1.6915
Cyangas	1.8188	0.5498
Grubengas	0.559	1.7889
Oehlbildendes Gas	0.9804	1.0200
Kohlenoxydgas	0.9727	1.0281
Chlorkohlenoxydgas	3.4127	0.2930
Schwefligſaures Gas	2.2116	0.4522
Kohlenſäuregas	1.5240	0.6562
Salzſäuregas	1.2544	0.7972
Schwefelwaſſerſtoffſäuregas	1.1778	0.8490

C. Gleichgewicht der Gaſe.

262. Alle jene Geſetze des Gleichgewichtes, welche für Flüſſigkeiten aus der abſolut leichten Verſchiebbarkeit dieſer Theile abgeleitet worden ſind, nämlich die in 199, 200, 201 entwickelten, ſind natür-

lich unbeſchränkt auf Gaſe anwendbar, weil dieſe auch den Flüſſigkeiten angehören; von den übrigen Geſetzen hingegen laſſen ſich nur jene auf Gaſe beziehen, die auf der Verſchiebbarkeit der Theile und auf der Schwere beruhen, aber von der Ausdehnſamkeit unabhängig ſind.

263. Man denke ſich die atmoſphäriſche Luft oder ein anderes Gas im freien Raume und unterſuche, auf Grundlage der Eigenſchaften eines ausdehnſamen Körpers, die Bedingungen ſeines Gleichgewichtes, und zwar zuerſt für die oberſten Theile der Luftmaſſe. Jedes dieſer Theilchen ſucht vermöge ſeiner Schwere zu ſinken und vermöge ſeiner Ausdehnſamkeit ſich nach allen Seiten auszudehnen. Dem Beſtreben, ſich ſeitwärts und nach abwärts auszudehnen und zu ſinken, muß der Widerſtand der daneben und unterhalb befindlichen Theile, dem Beſtreben ſich aufwärts auszudehnen, die Schwere das Gleichgewicht halten. Letzteres kann in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Ausdehnſamkeit der Gaſe ihre Schwere weit übertrifft, nicht wohl Statt haben, darum laſſen ſich auch Gaſe nicht wie tropfbare Flüſſigkeiten, in offenen Gefäßen aufbewahren; nur in dem großen Gasmeere, unſerer Atmoſphäre, iſt eine freie Oberfläche mit dem Gleichgewichte verträglich, weil an ihrer äußerſten Grenze die Ausdehnſamkeit der Luft ſehr gering iſt und darum mit der Schwere im Gleichgewichte ſtehen kann. Auf dieſer freien Oberfläche müſſen (180) die Richtungen der Schwere ſenkrecht ſtehen, und dieſe nahe die Geſtalt einer Kugel haben. Daher ſagt man, die atm. Luft hülle die Erde wie eine kugelförmige Schale ein. Die Theilchen, welche ſich im Inneren eines Gaſes befinden, werden nicht bloß durch ihre Schwere, ſondern auch durch das Gewicht der darüber befindlichen Gasſäule abwärts und nach allen Seiten gedrückt, und müſſen durch ihre Ausdehnſamkeit und den Widerſtand der benachbarten Theile dieſem Drucke widerſtehen. Hieraus erhellet nicht nur, warum die atmoſphäriſche Luft, wie wir ſelbe in ihrem natürlichen Zuſtande um uns antreffen, ſich in einem beſtimmten Grade der Zuſammendrückung befindet, und dem gemäß eine beſtimmte Spannkraft äußert, ſondern auch daß das Vorhandenſeyn dieſer Spannkraft ſogar als Beweisgrund für die Schwere der darüber liegenden Luft angeſehen werden kann. In dieſem Sinne kann man alſo ſagen, der Torricelliſche Verſuch (235) beweiſe die Schwere der Luft. Diejenigen Lufttheile, welche von dem Erdmittelpuncte gleich weit entfernt ſind, werden, in ſo fern man die Luft in dem Gleichgewichtszuſtande befindlich denkt, mit gleichen Kräften abwärts gedrückt, und müſſen demnach auch gleiche Expanſivkräfte beſitzen; an allen Orten, die eine gleiche Entfernung vom Erdmittelpuncte haben, muß dem zu Folge die Barometerhöhe gleich groß ſeyn. Für nicht weit von einander entfernte Orte findet dieſes wirklich Statt; bei größeren Entfernungen verurſachen aber die beſtändigen Strömungen, welche in der Luft Statt finden, nicht unbedeutende Störungen, doch ſtimmen auch hier die aus vielen Beobachtungen genommenen mittleren Barometerhöhen mit einander überein. Der

auf ein Gastheilchen nach abwärts wirkende Druck iſt offenbar deſto größer, je tiefer dieſes Theilchen unter der Oberfläche der Gasmaſſe liegt; darum muß auch die Ausdehnſamkeit, und bei einerlei Temperatur, auch die Dichte derſelben von oben nach unten zu-, und daher in entgegengeſetzter Richtung abnehmen. Dieſe Abnahme der Dichte und des Druckes der Luft nach oben hin iſt in der Atmoſphäre ſehr merklich. Bringt man eine wohl verſchloſſene, Luft enthaltende, aber ſchlaffe Blaſe vom Fuße eines nur mäßig hohen Berges auf den Gipfel deſſelben; ſo findet man, daß ſie anſchwillt. Auch das Barometer zeigt einen niedrigern Queckſilberſtand, wenn man es von einem niedriger gelegenen Orte in einen höher gelegenen überträgt.

Nehmen wir an der Erdflache den Luftdruck = 12¾ W. Pfd. auf den Quadratzoll und die Oberfläche eines erwachſenen Menſchen = 15 Q. Fuß an, ſo ergibt ſich ein Totaldruck auf dieſelbe von 27540 Pfund Der Druck, welchen die atmoſphäriſche Luft auf die ganze Erde ausübt, oder das abſolute Gewicht der ganzen Atmoſphäre beläuft ſich nahe auf 100000 Billionen Zentner W. G. Dieſen Druck empfinden wir nicht, weil er von allen Seiten, ſelbſt von innen heraus wirkt, und wir unſeren Zuſtand nicht mit dem, wo dieſer Druck fehlt, vergleichen können; ſelbſt kleine Veränderungen dieſes Druckes, wie ſie oft in der Atmoſphäre Statt finden, treten für den geſunden Menſchen unbemerkt ein, und geben ſich nur bei ſehr empfindſamen Individuen durch ein Uebelbefinden zu erkennen. Größere Veränderungen, wie ſie bei denen eintreten, die von hoch liegenden Gegenden, wo der Luftdruck viel geringer iſt, in tiefer liegende kommen oder umgekehrt, verurſachen ſelbſt bei geſunden und kräftigen Individuen ein Uebelbefinden, Mattigkeit und Beklemmung. In der Höhe von etwa 5 Meilen über der Erdoberfläche iſt die Luft ſo ſehr verdünnt, wie wir dieſes in unſeren Laboratorien mit der beſten Luftpumpe kaum bewerkſtelligen können; ſelbſt auf hohen Bergen hat ſie ſchon eine für die Lebensfunctionen des Menſchen zu geringe Dichte. Kommt man in die Höhe von 1500 W. Kl. und darüber, ſo ſtellet ſich eine ungewöhnliche Müdigkeit ein, man muß faſt alle hundert Schritte einige Minuten ausrnhen; dazu geſellt ſich ein läſtiges Ohrenſtechen, man nimmt wahr, daß aus den Ohren von Zeit zu Zeit Luftbläschen entweichen, man hört kaum 10 Schritte weit, das Athmen wird beſchwerlich. der Puls ſchlägt ſchnell, oft tritt ſogar Neigung zum Erbrechen ein. In ſolchen Höhen heilen ſelbſt Wunden langſamer und Arzneimittel wirken ſchwächer.

Das Fallen des Queckſilbers im Barometer, wenn man damit an höher liegende Orte geht, hat zuerſt Paſcal vermuthet, und es wurde die Richtigkeit dieſer Vermuthung durch die im J. 1648 auf dem Puy-de-Dome in Frankreich angeſtellten Beobachtungen beſtätiget. Man kann ſich die Torricelliſche Röhre als einen Schenkel eines Communicationsgefäßes vorſtellen, deſſen anderer Schenkel mit atm. Luft gefüllt iſt, und das Gleichgewicht beider Flüſſigkeiten nach 207 beurtheilen. Die atm. Luft iſt bei 0° C. und 760 M. M. Barometerſtand nach Biot und Arago's ſehr genauen Verſuchen 10467 dünner als das Queckſilber. Damit alſo unter dieſen Umſtänden der Barometerſtand ſich um 1 Linie niedriger zeige, muß man das Inſtrument um 10467 Linien oder um 72.7 Fuß höher bringen, in ſo fern es nämlich erlaubt iſt, hier von der Aenderung der Dichte

der Luft innerhalb dieſer Höhe zu abſtrahiren. Auf der Spitze des Montblanc ſah Sauſſure einen Barometerſtand von nur 16.108 P. Z.; am Ararat zeigte Parrot's Barometer 16.06 P. Z.

264. Die nach oben zu immer abnehmende Dichte der Luft verurſacht, daß der Druck einer Luftſäule nicht, wie bei tropfbaren Körpern, im einfachen verkehrten Verhältniſſe mit der Entfernung von einer beſtimmten Horizontalebene abnimmt, ſondern daß dieſe Abnahme in einer geometriſchen Progreſſion geſchieht, während die Entfernungen von dieſer Ebene eine arithmetiſche Reihe bilden. Es ſey eine zwiſchen den verticalen Ax und By (Fig. 86) befindliche Luftſäule durch die Horizontalebenen AB, CD, EF, GH, IK ꝛc. in gleiche Schichten getheilt, die eine ſo geringe Höhe haben, daß man die Dichte in jeder einzelnen Schichte für gleichförmig halten kann. Es habe dieſe Luft in irgend einer Schichte die Dichte d_n, das Gewicht p_n, und erleide von der darüber befindlichen Luftſäule den Druck P_n, wo n eine Zahl iſt, welche die Schichte angibt, für welche dieſe Größen gelten, ſo daß d_1, d_2 ... p_1, p_2 ... P_1, P_2 ... ſich auf die erſte, zweite ꝛc. Schichte beziehen. Der Druck auf die Baſis AB wird demnach durch P_0 ausgedrückt. Da iſt nun, in ſo fern man die Intenſität der Schwere als unverändert annehmen, alſo die Gewichte den Maſſen proportional ſetzen darf, $d_1 : d_n = p_1 : p_n$, und in ſo ferne das Mariotte'ſche Geſetz zuläßig erſcheint, $d_1 : d_n = P_1 : P_n$, mithin auch $p_1 : p_n = P_1 : P_n$, woraus man erhält

$$P_1 + p_1 : P_1 = P_n + p_n : P_n.$$ Es iſt aber

$$P_1 + p_1 = P_0,\ P_n + p_n = P_{n-1},$$ mithin auch

$$P_0 : P_1 = P_{n-1} : P_n, \text{ und daher } P_n = \frac{P_1}{P_0} \cdot P_{n-1}.$$

Setzt man für n ſucceſſive 1, 2, 3 ꝛc., und nennt der Kürze halber $\frac{P_1}{P_0} = Q$, ſo erhält man die Werthe $P_1 = Q.P_0$, $P_2 = Q.P_1 = Q^2.P_0$, $P_3 = Q.P_2 = Q^3.P_0$ u. ſ. f. Es ſind alſo P_0, P_1, P_2, P_3 ꝛc. Glieder einer geometriſchen Reihe, während die Höhen o, AC, AE, AG ꝛc. zu einer arithmetiſchen gehören. Dieſes Geſetz wird aber in der Wirklichkeit nur dann Statt haben, wenn die Wärme aller Luftſchichten dieſelbe iſt, die Variation der Schwere vernachläßiget werden darf, und das Mariotte'ſche Geſetz für jeden hier vorkommenden Grad der Luftdichte giltig iſt. So wie es ſich mit einem dieſer Puncte anders verhält, muß auch das genannte Geſetz anders ausfallen.

Da hier, wenn m, n die Stellenzeiger zweier verſchiedenen Luftſchichten ſind, $P_m = Q^m P_0$ und $P_n = Q^n P_0$ iſt, ſo hat man $\frac{P_n}{P_m} = Q^{n-m}$ und wenn man beiderſeits die Logarithmen nimmt,

$$\log. P_n - \log. P_m = (n - m) \log. Q$$ folglich

$$n - m = \frac{1}{\log. Q} (\log. P_n - \log. P_m).$$ Bezeichnen wir die Höhe einer einzelnen Schichte durch h, ſo iſt nh − mh der Höhenunterſchied beider hier betrachteten Schichten; nennen wir dieſen H, ſo ha-

ben wir, wenn wir die ſo eben erhaltene Gleichung mit h multipliciren

$$H = \frac{h}{\log. Q} (\log. P_n - \log. P_m).$$

Statt P_m und P_n kann man hier die an den entſprechenden Orten obwaltenden Barometerſtände ſetzen, welche durch B und b angedeutet werden mögen, und da Q ein echter Bruch, mithin log. Q negativ iſt, ſo ſey $-\frac{h}{\log. Q} = C$. Hierdurch erhält man die Formel

$$H = C (\log. B - \log. b).$$

Da das Queckſilber bei 0° C. und 760 M. M. oder 336.9 Par. Lin. Barometerſtand 10467mal dichter iſt als die atm. Luft, ſo wird, wenn man das Barometer um 0.10467 Fuß höher ſtellt, der Queckſilberſtand um 0.00001 Fuß oder 0.00144 Lin. abnehmen. Setzt man daher $P_0 = 336.9$ Par. Lin. und $h = 0.10467$ Fuß,

ſo wird $P_1 = 336.0 - 0.0014$ Lin. $= 336{,}89856$ Lin.

mithin $C = \frac{0.10467}{\log. 336.9 - \log. 336.89856}$.

Es iſt aber $\log. 336.9 = 2.5275010110$

und $\log. 336.89856 = 2.5274991547$

Differenz $= 0.0000018563$

folglich $C = 56386$.

Die für H erhaltene Formel wird dem Höhenmeſſen mit dem Barometer zum Grunde gelegt. Bei dem hier gefundenen Werthe von C gibt ſie die Höhe in Pariſer Fußen, wenn die Barometerbeobachtungen an den äußerſten Puncten in beliebigem Maße ausgedrückt worden ſind. Will man die Höhenangabe in Wiener Fußen, ſo iſt $C = 57945$ zu ſetzen. Doch ſetzt dieſe Formel voraus, daß die ganze Luftſäule die Temperatur 0° C. habe. Legt man der Luftſäule eine andere Temperatur τ bei, ſo muß man die Größe C mit $1 + \alpha\tau$ multipliciren, wobei α der Ausdehnungscoefficient der Luft für die Temperaturänderung 1° C. iſt. Denn durch Erwärmung wächſt die Spannkraft der Luft, ſie wird daher, um ſich mit der Umgebung wieder ins Gleichgewicht zu ſetzen, in demſelben Verhältniſſe dünner, mithin die Luftſäule, die man durchwandern muß, um denſelben Unterſchied der Barometerſtände zu erhalten, in gleichem Verhältniſſe höher. In der Erfahrung findet zwar keine gleichförmige Erwärmung der Luft in verticaler Richtung Statt, doch kann man die Sache betrachten, als ob die Temperatur nach oben hin in einer arithmetiſchen Reihe abnähme, wenn die Höhen in einer ſolchen wachſen, mithin für τ das arithmetiſche Mittel zwiſchen den Temperaturen an der untern und obern Beobachtungsſtation ſetzen. Man erhält auf dieſe Weiſe befriedigende Reſultate, welche noch verbeſſert werden, wenn man auch noch auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft, auf die Abnahme der Schwere in verticaler Richtung und auf deren Aenderung wegen der geographiſchen Breite des Beobachtungsortes Rückſicht nimmt. Im Folgenden vorzutragende Lehren bieten hiezu die Hilfsmittel dar.

265. Die Geſetze des Gleichgewichtes ausdehnſamer und in dieſelben getauchter feſter oder tropfbarer Körper ſtimmen mit jenen genau überein, welche zwiſchen tropfbaren und darin befindlichen feſten Maſſen aufgeſtellt worden ſind. Es verliert ein Körper in einem Gaſe ſo viel von ſeinem Gewichte, als die verdrängte Gasmaſſe wiegt. Die-

ſes hat auf die Gewichtsbeſtimmung der Körper Einfluß. Man findet nämlich beim Abwägen eines Körpers in der Luft nur dann ſein abſolutes Gewicht richtig, wenn er mit dem Gegengewichte von gleicher Dichte iſt. Hat er eine größere oder kleinere Dichte, ſo findet man jenes Gewicht um ſo viel zu groß oder zu klein, als das Gewicht der Luft unter einem Volum beträgt, welches dem Unterſchiede der Rauminhalte des abzuwägenden Körpers und des angewendeten Gewichtes gleich iſt. In den meiſten Fällen braucht man deßwegen keine Correction anzubringen; findet man ſie nöthig, ſo iſt aus dem Vorhergehenden leicht erſichtlich, auf welche Weiſe ſie zu machen ſey. Eine nothwendige Folge dieſes Geſetzes iſt auch, daß jeder Körper, der weniger wiegt, als ein gleiches Volum Luft, in dieſer aufſteigen muß. Hierauf gründet ſich das Steigen der Luftballone, die mit erwärmter atm. Luft oder mit Waſſerſtoffgas, kurz mit einer Gasart gefüllt ſind, welche bei einer geringeren Dichte dieſelbe Spannkraft hat wie die atmoſphäriſche Luft und darum mit ihr im Gleichgewichte ſteht, vorausgeſetzt daß der Ballon ſelbſt mit der Belaſtung weniger Gewicht hat, als die von dieſem verdrängte Luft. Solche Ballone verhalten ſich gegen die Luft, wie z. B. Korkholz gegen Waſſer, nur mit dem Unterſchiede, daß ſie nicht bis zum Ende der Atmoſphäre ſteigen können, weil ſie in immer dünnere Luftſchichten kommen, ſo daß ſie nothwendig einmal eine erreichen, deren ſpecifiſches Gewicht dem des Ballons gleich kommt.

Auf dem Geſetze des Gleichgewichtes der Luft und der in ihr befindlichen Körper beruht das Wagemanometer, ein Inſtrument, welches die Zu- und Abnahme der Dichte der Luft anzeigt, und eigentlich aus einer Wage beſteht, an der ein Gewicht von ſehr dichtem Materiale mit einer hohlen, luftleeren Kugel bei der mittleren Dichte der Luft im Gleichgewichte ſteht. Sobald die Luft dünner wird, muß die Kugel ſinken, weil ihr Gewichtsverluſt minder bedeutend wird, als der ihres Gegengewichtes; ſobald die Luft dichter wird, muß die Kugel ſteigen. Es iſt leicht eine Einrichtung denkbar, wodurch man in den Stand geſetzt wird, aus dem Stande des Manometers auf das ſpecifiſche Gewicht der Luft ſchließen zu können. Otto Guericke hat dieſes Inſtrument erfunden, Fouchy und Gerſtner haben es bedeutend verbeſſert. (Gerſtner's Luftwage in den Beobachtungen auf Reiſen nach dem Rieſengebirge. Dresden 1791. Gerſtner's Mechanik. Bd. 3)

Der Luftballon wurde im Jahre 1783 zu Annonay von den Brüdern Mongolfier erfunden. Dieſe ließen am 5. Juli deſſelben Jahres einen Ballon von Leinwand und Papier, der 110 Fuß im Umfange hatte, ſteigen, indem ſie ihn durch erwärmte Luft auftrieben; er ſtieg auf eine Höhe von 6000 Fuß. Bald darauf ſendeten die Herren Robert und Charles zu Paris eine ähnliche, mit Waſſerſtoffgas gefüllte, taffetene Kugel gegen Himmel. Pilatre de Rozier und Marquis d'Arlande haben ſich zuerſt dieſem gefährlichen Fahrzeuge anvertraut, unter einem ſolchen Enthuſiasmus der Pariſer, daß es kaum begreiflich wird, wie noch eine Zeit kommen konnte, wo das Steigen eines Luftballons faſt nicht mehr Aufſehen macht, als das Fallen einer Sternſchnuppe. Heut zu Tage verfertiget man die Luftballone aus Taffet, der zuerſt gehörig zugeſchnitten,

dann mit einem Firniß aus Leinöhl, Vogelleim und Terpentinöhl überſtrichen wird. Die Stücke werden zuſammengenäht, und die Nähte mit demſelben Firniß überzogen. Der kleinſte kugelförmige Taffetballon muß 3 Fuß 4 Linien im Durchmeſſer haben, einer aus Goldſchlägerhäutchen ſteigt ſchon, wenn er ſechs Zoll im Durchmeſſer hat. Garnerin's Luftballon hatte 80 Fuß im größten, 25 F. im kleinſten Durchmeſſer, und faßte daher 10.400 K. F., trieb mithin unten 950 Pfund Luft aus ihrer Stelle. Er faßte aber etwa 160 Pfund Hydrogengas und mochte an Zeug 270 Pfund wiegen; es blieb ihm alſo eine Steigkraft von 520 Pfund. Neuerlich hat der durch ſeine zahlreichen und kühnen Fahrten ausgezeichnete engliſche Luftſchiffer Green mit bedeutendem Vortheile das bei der Deſtillation der Steinkohle ſich entwickelnde (auch als Beleuchtungsmaterial dienende) Kohlenwaſſerſtoffgas ſtatt des Waſſerſtoffgaſes zur Füllung der Luftballone angewendet. Die ungeheuren Gasvorräthe der Beleuchtungsanſtalten Londons geſtatten eine ſehr raſche Füllung ſeines Rieſenballons und die mindere Feinheit dieſes Gaſes läßt leichter einen für dieſelbe undurchdringlichen Stoff finden und macht ſomit ein längeres Verweilen in höheren Luftregionen möglich.

Siehe hierüber: Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg 1784. Anhang zur Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg 1786. Zachariä, Elemente der Luftſchwimmkunſt. Wittenberg 1807. Theorie der Aëronautik von C. Laczynsky. Mohrungen 1833.

266. Zwei Gaſe, welche durch eine bewegliche aber undurchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Waſſer-, Oehl- oder Queckſilberſäule getrennt ſind, ſtehen im Gleichgewichte, wenn ſie mit gleichen und entgegengeſetzten Kräften unmittelbar auf die Scheidewand und daher mittelbar auf einander ſelbſt wirken. Es muß demnach jede Veränderung in der Ausdehnſamkeit des einen Gaſes eine ähnliche im anderen hervorbringen. Aus dem hier erwähnten Geſetze erklären ſich: Die Wirkung der Taucherglocke, des Stechhebers, des gekrümmten Hebers, der Mariotte'ſchen Flaſche, der Sicherheitsröhren, Gaſometer, Blasbälge, des Heronsballes, des Heronsbrunnens, des Lichterbrunnens, der Saug- und Druckpumpen, der Feuerſpritzen, der Windbüchſe; das Saugen, Trinken, Tabakrauchen, und eine ungemeine Menge phyſikaliſcher Spielwerkzeuge, z B. das magiſche Tintenfaß, der magiſche Trichter, der Oehlkrug der Witwe, der Sieb der Veſtalin, der Zauberbrunnen, der Vexierbecher (Diabetes der Alten), die ſchwimmende Fontaine, der Storch und die Schlange u. dgl. m.

Die Taucherglocke beſteht aus einem großen luftdichten, auf einer Seite offenen, einer umgeſtürzten Tonne ähnlichen Gefäße, welches mit der Oeffnung auf das Waſſer geſetzt und ſo verſenkt wird. Die darin befindliche Luft hält durch ihre Expanſivkraft dem äußeren Luftdrucke und der über der Glocke ſtehenden Waſſerſäule das Gleichgewicht, hindert alſo das Eindringen des Waſſers bis zur völligen Ausfüllung der Glocke und ſichert ſo das Athemholen der darin befindlichen Menſchen. Die Erfindung der Taucherglocke ſcheint ſehr alt zu ſeyn, ſchon im Anfange des 16. Jahrhunderts wurde ſie in Europa gebraucht, und iſt ſeitdem vielfach in Anwendung gekommen. Doch iſt dabei der Umſtand ſehr läſtig, daß die Luft in der Glocke bald durch das Athmen verdorben wird, alſo bei längerem Aufenthalt un-

ter Waſſer fortwährend erneuert werden muß, und daß man ſich wegen der zu ſtarken Verdichtung der Luft und des daraus entſtehenden Druckes auf den menſchlichen Körper (er beträgt für jede 32 Fuß Tiefe um eine Atmoſphäre mehr), nicht in bedeutende Tiefen wagen darf. Wie weit das Waſſer dabei in die Glocke dringt, wenn nicht von oben Luft nachgeſchaft wird, läßt ſich nach dem Mariotte'ſchen Geſetze leicht beurtheilen.

Der Stechheber iſt ein wenige Fuß lange, beiderſeits offene, oben bedeutend erweitere und in eine enge Mündung ſich endigende Röhre, Fig. 78, mittelſt der man Flüſſigkeiten aus Faſſern heraushebt. Man taucht die Röhre in die Flüſſigkeit und ſaugt am äußeren Ende, ſchließt dann das letztere, und zieht die Röhre ſammt Inhalt aus der Flüſſigkeit.

Der gekrümmte Heber iſt eine gewöhnlich etwa 2 Fuß lange gebogene Röhre, wovon meiſtens ein Schenkel länger iſt als der andere (Fig. 79 a und b). Gibt man dem Heber gleich lange Schenkel, ſo pflegt man ſelbe an den Enden etwas aufwärts zu biegen (Fig. 80). Man nennt ihn würtembergiſchen Heber. Füllt man eine ſolche Röhre durch Saugen oder auf eine andere Weiſe mit einer Flüſſigkeit, z. B. Waſſer und läßt beide Schenkel abwärts gehen, ſo bleibt dieſes im Gleichgewichte, wenn die Mündungen beider Schenkel in dieſelbe Horizontalebene fallen, zumal wenn ſelbe aufwärts gebogen ſind und hiedurch dem Aufſteigen der äußeren Luft in die Schenkel vorgebeugt wird; ſteht aber die Mündung eines Schenkels tiefer als die andere, ſo fließt das Waſſer durch die tiefere Mündung ab. Dieſes Phänomen beruht auf dem Drucke des Waſſers und der Luft. Stehen beide Mündungen gleich tief, ſo ſind die gleichnamigen Kräfte beiderſeits gleich und heben ſich daher auf. Haben aber beide Mündungen nicht gleich tiefen Stand, ſo ſey P der abwärts gerichtete Waſſerdruck, ferner Q der aufwärts gerichtete Luftdruck an der tieferen Mündung, und p, q die gleichnamigen Kräfte an der höher ſtehenden. Offenbar iſt $Q > P$, $q > p$ und man hat als Reſultirende dieſer Kräfte an der tieferen Mündung den Druck $Q - P$, an der andern den Druck $p - q$, beide aufwärts wirkend Aber die Differenz beider iſt $Q - P - (q - p)$ welchen Ausdruck man auch ſo ſchreiben kann: $Q - q - (P - p)$. Da nun $Q - q$ den Druck einer Luftſäule anzeigt, deren Höhe dem Höhenunterſchiede der beiden Mündungen gleich iſt, und $P - p$ den Druck einer gleich hohen Waſſerſäule; ſo iſt offenbar $Q - p < P - p$, mithin obige Differenz negativ, alſo auch $Q - P < q - p$. Die aufwärts wirkende Reſultirende an der tiefern Mündung iſt demnach die ſchwächere, und folglich fließt das Waſſer da heraus. Tauchen die Schenkel des Hebers in Waſſer, ſo iſt der Stand der Waſſerfläche als jener der correſpondirenden Hebermündung anzuſehen. Man ſieht leicht ein, warum, wenn die eine Mündung in Waſſer taucht, der Ausfluß des Waſſers aus der anderen ſo lange währt, als jener Waſſerſpiegel über der Ausflußöffnung ſich befindet; denn die Ungleichheit oben genannter Kräfte dauert eben ſo lange fort Allein es iſt klar, daß die verticale Höhe der Heberkrümmung über der höher liegenden Mündung nicht mehr betragen darf, als die Höhe der Flüſſigkeitsſäule, die dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, denn ſonſt ſinkt die Flüſſigkeit zu beiden Seiten herab. Man kann daher den Heber nicht wie einſt Porta (am Anfange des 17. Jahrhunderts vor Torricelli's Entdeckung) meinte, gebrauchen, um Waſſer über Anhöhen zu leiten, denn dieſe dürften die geringe Höhe von 32 Fuß nicht erreichen. Unter dem Recipienten der Luftpumpe hört, wenn die Luft gehörig verdünnt worden iſt, das Ausfließen des Waſſers aus dem

Heber auf. Die Form des Hebers (Fig. 89 b) dient zum Anſaugen von Flüſſigkeiten, die man nicht in den Mund bringen darf; er heißt Giftheber. Der würtembergiſche Heber kann aus der Flüſſigkeit, die durch ihn abfließt, gehoben werden, und bleibt, wenn man ſich hüthet ihn ſtark zu neigen, gefüllt; taucht man ihn ein, ſo beginnt der Abfluß von neuem.

Die Mariotte'ſche Flaſche, Fig. 81, hat die Geſtalt einer gewöhnlichen Flaſche, nur iſt ſie ſeitwärts in einiger Entfernung vom Boden mit einer kleinen Oeffnung A verſehen und es geht durch den gut ſchließenden Stöpſel am Halſe ein oben und unten offenes Rohr bc luftdicht hindurch. Iſt die Flaſche mit Waſſer gefüllt und das Rohr ſo weit hinabgeſchoben, daß das Ende c tiefer ſteht, als die Oeffnung A (Fig. 91, a), ſo ſtellt ſich das Waſſer im Rohre dergeſtalt, daß deſſen Oberfläche ſich mit A in derſelben Horizontalebene befindet. Auf dieſe Weiſe halten nämlich die aus dem Luft- und Waſſerdrucke im Rohre und an der Seitenöffnung hervorgehenden Kräfte einander das Gleichgewicht. Steht aber das Ende c des Rohres höher als die Oeffnung A (Fig. 91, b), ſo fließt aus letzterer, während durch das Rohr Luft in die Flaſche dringt, fortwährend Waſſer ab, bis endlich der Flüſſigkeitsſpiegel in der Flaſche nur bis A reicht. Beachtenswerth hierbei aber iſt, daß das Waſſer aus der Oeffnung A durch den zum Gleichgewichte fehlenden Druck einer Waſſerſäule von der Höhe, in der das Ende c des Röhres über A ſteht, mithin durch eine von der Stellung des Waſſerſpiegels in der Flaſche unabhängige Kraft herausgetrieben wird, alſo fortwährend mit einerlei Geſchwindigkeit ausfließt, ein Umſtand, der nützliche Anwendungen geſtattet. Man kann ſtatt der Seitenöffnung A an der Flaſche einen Heber DA (Fig. 82) anbringen und die Röhre BC oben ſeitwärts krümmen, nur müſſen die Röhren durch den an den Flaſchenhals gut paſſenden Stöpſel luftdicht gehen. Bläſt man bei B Luft ein, ſo beginnt das Ausfließen der in der Flaſche befindlichen Flüſſigkeit, mit einer conſtanten Geſchwindigkeit, die man durch die Höhe, in welche man das Ende C des Luftrohres über die Hebermündung A ſetzt, reguliren kann. Saugt man bei B Luft heraus, ſo wird das Ausfließen unterbrochen. Während des Ausfließens iſt die Luft ober der Flüſſigkeitsfläche in der Flaſche verdünnt und ihr Druck gibt mit dem Drucke der Flüſſigkeit auf C zuſammengenommen eine dem äußeren atmoſphäriſchen Drucke gleiche Summe. Man erſieht hieraus die Nothwendigkeit des luftdichten Verſchluſſes am Halſe der Flaſche zur Erzielung einer conſtanten Ausflußgeſchwindigkeit.

Eine Sicherheitsröhre nennt man eine beiderſeits offene, gerade oder beſſer gebogene Röhre, die man an einem Gasrecipienten oder an einer Gasentwicklungsflaſche anbringt, um nebſt dem Verſchluſſe derſelben noch gewiſſe andere, den Gang einer chemiſchen Operation ſichernde Zwecke zu erreichen, z. B. um den Grad der Ausdehnſamkeit des darin befindlichen Gaſes zu erkennen, dem Gaſe bei zu großer Anhäufung einen Ausweg oder bei plötzlicher Verminderung der inneren Spannkraft der atm. Luft den Eintritt zu geſtatten, und in dem einen wie auch in dem anderen Falle dem Zerſpringen des Gefäßes vorzubeugen; um Flüſſigkeiten zum Behufe der Fortſetzung der Gasentwicklung in das Gefäß gießen zu können, ohne es zu öffnen und dadurch zu verhüthen, daß das Gas entweiche oder mit atm. Luft verunreiniget werde ꝛc. Es ſey A (Fig. 83) eine Flaſche, die zum Theil mit Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit, zum Theil mit Gas gefüllt iſt, und a die Sicherheitsröhre, welche, wenn ſie gerade iſt, bis nahe an den Boden der Flaſche reicht, was jedoch nicht nöthig iſt, wenn man der Röhre zweckmäßige Biegungen gibt.

Hat das Gas eine mit der äußeren Luft gleiche Expanſivkraft, ſo wird auch die Flüſſigkeit in der Flaſche und in der geraden Röhre oder in den Schenkeln der gebogenen gleich hoch ſtehen; ſo wie aber der Gasdruck zunimmt, ſteigt die Flüſſigkeit in der Röhre, bis der Druck der flüſſigen Säule, verſtärkt durch den äußeren Luftdruck, das Gleichgewicht herſtellt. Man wird daher aus den Veränderungen des Standes der Flüſſigkeit in der Röhre wahrnehmen können, ob Gas abſorbirt wird oder ob neues hinzukommt, vorausgeſetzt, daß Temperatur und Luftdruck beſtändig bleiben. Vermehrt ſich die Gasmaſſe über Gebühr, ſo kann ein Theil derſelben austreten, indem er die Flüſſigkeit in den andern Schenkel drängt. Auf demſelben Wege kann man auch Flüſſigkeit nachfüllen. Damit eine ſolche Röhre bei einer mäßigen Länge doch viel Flüſſigkeit faſſe, dieſe daher nicht überlaufe, ſo bringt man an gewiſſen Stellen kugelförmige Erweiterungen an. Eine ſolche Röhre heißt eine Welter'ſche Sicherheitsröhre.

Gaſometer nennt man im Allgemeinen jedes zur Aufbewahrung eines Gaſes dienende Gefäß, aus welchem das Gas durch Röhren mittelſt Waſſer oder Queckſilberdruckes herausgelaſſen werden kann, wobei man noch in vielen Fällen die Forderung macht daß dieſes in einem regelmäßigen Strome geſchehe Soll der Apparat ſeiner Benennung vollkommen entſprechen, ſo muß er auch Mittel darbieten, ſowohl die Quantität des in demſelben noch vorhandenen Gaſes, wie auch deſſen Spannung zu beurtheilen. Fig. 84 ſtellt einen Apparat dieſer Art vor, wie man ihn im Großen in Gasbeleuchtungsanſtalten verwendet A iſt ein oben offenes, Waſſer enthaltendes Gefäß; in demſelben bewegt ſich ein zweites umgeſtürztes kleineres B auf und nieder; es dient zur Aufnahme des Gaſes, und drückt ſelbes durch ſein Gewicht zuſammen: dieſer Druck wird nach Bedürfniß durch Gegengewichte C regulirt. Das Gas wird durch die eine der Röhren D eingefüllt und tritt durch die andere aus. Fig. 85 ſtellt Pepys, zu phyſikaliſchen Verſuchen äußerſt bequemen Gasbehälter dar. Bei dem Gebrauche füllt man ihn zuerſt mit Waſſer. Man gießt ſelbes durch das obere Gefäß A ein, nachdem man die Oeffnung a und den Hahn b geſchloſſen, die Hähne c und d aber geöffnet hat. Die Luft entweicht durch d, während das Waſſer durch die bis an den Boden des unteren Gefäßes B gehende Röhre f g eindringt. Iſt nun ein Gas zu entwickeln, ſo ſchließt man die Hähne b c d und öffnet den Verſchluß bei a. Da das kurze Rohr daſelbſt eine aufwärts gekehrte Mündung hat, ſo kann die atm. Luft nicht eindringen, und das Waſſer wird durch ihren Druck in B zurückgehalten. Das Entbindungsrohr wird ſodann in a eingeführt und das Waſſer läuft, ſo wie Gas in B eintritt, durch a neben dem Rohre ab. Schließt man a und öffnet man c, ſo kann man das Gas entweder durch b austreten laſſen, oder, wenn eine Flaſche oder Glocke damit zu füllen iſt, dieſe mit Waſſer gefüllt über die Mündung e in A ſetzen. Den jedesmaligen Stand des Gaſes in B erkennt man, wenn dieſes Gefäß nicht von Glas iſt, mittelſt des gläſernen Seitenrohres m n, welches mit B oben und unten in Communication ſteht. (Zenneck's Myzogaſometer in Zeitſchr. 11, 256)

Ein Blaſebalg iſt ein luftdichter, lederner oder hölzerner Kaſten, deſſen innerer Raum ſich vergrößern und verkleinern läßt und beim Erweitern durch eine enge Oeffnung Luft ſchöpft, die er beim Verkleinern durch eine andere Oeffnung entweichen läßt. Um einen ununterbrochenen Luftſtrom zu erhalten, wird die Luft zunächſt in einen zweiten, auf ähnliche Weiſe conſtruirten Behälter getrieben, der mit einem Gewichte beſchwert iſt (doppelter Blaſebalg).

Der Heronsball nach Heron von Alexandrien, der um d. J. 600 n. Chr. lebte, ſo genannt (Fig. 86), iſt ein Gefäß, das mit einer engen, offenen, bis an den Boden reichenden Röhre verſehen, übrigens aber luftdicht verſchloſſen iſt. Füllt man es zum Theil mit Waſſer, und verdichtet dann die innere Luft, ſo ſpringt erſteres durch die Röhre heraus.

Der Heronsbrunnen (Fig. 87) iſt ein Heronsball, der mit einem andern luftdichten Gefäße mittelſt zwei Röhren verbunden iſt, wovon die eine am oberen Boden jedes Gefäßes ſich endigt, während die andere durch den ganzen Heronsball geht, mit dem einen Ende bis an den unteren Boden des unteren Gefäßes reicht und mit dem andern ſich nach außen in einen über dem oberen Gefäße befindlichen tellerartigen Aufſatz öffnet. Enthält dieſer Waſſer, ſo fließt es durch die letztgenannte Röhre ins untere Gefäß, vertreibt daraus die Luft, die nun in den Heronsball kommt und daſelbſt ein Hervorſpringen des Waſſers bewirkt, das ſich in dem oberen Teller ſammelt und dann in das untere Gefäß abfließt. Dieß geht ſo lange fort, als noch im Heronsballe Waſſer vorhanden iſt. Wird das Ausflußrohr des Heronsballes nach oben verlängert, ſo ſteigt das Waſſer darin ſo weit empor, daß die Höhe der gehobenen Säule jener der drückenden gleich kommt. Die zwiſchen beiden Waſſerſäulen enthaltene Luft dient dann bloß als Fortpflanzungsmittel des Druckes. Man kann dem Heronsbrunnen mit Hülfe des Princips des Mariotte'ſchen Flaſche eine ſolche Einrichtung geben, daß die Kraft, mit welcher das Waſſer herausgetrieben wird, nicht von dem Stande deſſelben im oberen und unteren Gefäße abhängt, ſondern ſich ſtets gleich bleibt. Man hat davon eine ſinnreiche Anwendung auf Conſtruction von Oehllampen gemacht, worin dem Dochte ſtets gleichmäßig Oehl zugeführt werden ſoll. Doch haben dieſe den Nachtheil, daß ſich die Lichtſtärke bei plötzlicher Temperaturänderung raſch ändert, weil hiedurch die Federkraft der Luft und ſomit der Oehlzufluß geändert wird. Die Einrichtung des Heronsbrunnens wurde auch zum Waſſerheben benützt (Hell's Luftſäulenmaſchine).

Der Lichterbrunnen iſt ein Heronsball, der mit einem Luftbehälter in Verbindung ſteht. Wird die Luft in letzterem durch untergeſetzte Lichtflammen erhitzt, ſo treibt ſie das im Heronsballe vorhandene Waſſer in Folge ihrer geſteigerten Expanſivkraft heraus.

Eine Saugpumpe (Fig. 88) beſteht aus einer höchſtens 28 Fuß langen Röhre a (Saugröhre), deren unteres Ende in das zu hebende Waſſer getaucht iſt, während das obere b mit einem hohlen Cylinder (Stiefel) in Verbindung ſteht, in welchem ein Kolben luftdicht auf und ab bewegt werden kann. Wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden iſt, hat letzterer ein Ventil c, das ſich von unten nach oben öffnet; ein ähnlich eingerichtetes hat auch der Kolben d. Durch das Aufziehen des Kolbens wird die Luft im Stiefel verdünnt; dieſes macht, daß die Luft in der Saugröhre das Bodenventil hebt und zum Theil in den Stiefel tritt; beim Hinabdrücken des Kolbens ſteigt ſie über ſein Ventil und kommt ins Freie. Mit dieſer Luftverdünnung in der Saugröhre ſteht das Steigen des Waſſers in Verbindung. Durch wiederholtes Kolbenſpiel tritt es über das Bodenventil in den Stiefel und endlich gar über den Kolben bis zur Ausgußröhre e. Die Saugpumpe wirkt alſo, ſo lange das Waſſer nicht über das Kolbenventil gebracht worden iſt, als Luftpumpe, wobei der Einfluß des ſchädlichen Raumes nicht außer Acht gelaſſen werden darf. Dieſer Umſtand beſchränkt ſeinerſeits die Länge des Saugrohres, die deßhalb

noch bedeutend geringer ſeyn muß, als die Höhe der Waſſerſäule, welche die Luft zu tragen vermag.

Die Druckpumpe (Fig. 89) hat einen Stiefel mit einem Bodenventil a, das ſich von unten nach oben öffnet, und einen luftdicht ſchließenden, beweglichen Kolben b. An der Seite des Stiefels befindet ſich eine aufwärts gekrümmte Röhre c (Steigröhre) mit einem Ventile d, das ſich von innen nach außen öffnet. Wenn beim Heben des Kolbens und der dadurch bewirkten Luftverdünnung das Waſſer in den Stiefel geſtiegen iſt, ſo wird es beim Herabdrücken des Kolbens in die Steigröhre getrieben, und weil das Ventil es nicht mehr zurück läßt, ſelbſt wenn der Kolben gehoben wird, ſo kommt es mit jedem Kolbenſtoße höher zu ſtehen und gelangt endlich gar zur Ausgußöffnung e.

Die Feuerſpritze (Fig. 90) beſteht gewöhnlich aus zwei Druckpumpen a, a, die das Waſſer in einen Heronsball b pumpen, aus welchem es mittelſt eines beweglichen Rohres oder eines Schlauches (Schlange) hervorſpritzt

Die Windbüchſe (Fig 101) beſteht aus einem ſehr ſtarken metallenen Gefäße a (Flaſche), in welchem die Luft ſtark (etwa 60mal) verdichtet worden iſt, und das durch eine Klappe verſchloſſen wird, die ſich von außen nach innen öffnet An die Flaſche iſt das Rohr b angeſetzt, aus welchem eine Kugel geſchoſſen werden kann, wenn durch einen Stoß die Klappe der Flaſche geöffnet wird.

Mehrere der hier beſprochenen Vorrichtungen waren bereits den Alten bekannt, z. B. die Heber, von denen ſchon Heron vielfältige Anwendungen gemacht hat, oder exiſtiren ſchon viele Jahrhunderte, wie die Pumpen, Feuerſpritzen u. dgl. Die genaue Kenntniß der Eigenſchaften der Luft verhalf zur Erklärung der älteren und zur Erfindung vieler neueren Geräthſchaften dieſer Art, worüber vornehmlich die neuere Ausgabe des Gehler'ſchen phyſ. Wörterbuches vielfache Belehrung bietet. S. die Artikel Heber, Pumpe, Springbrunnen und dgl. Die oben zuletzt genannten Spielwerke findet man größtentheils in Wolfii Elementa Matheseos. Gen. 1746. Tom. 2. Oder in den Erinnerungen aus Lichtenberg's Vorleſungen von Gamauf. Wien. 2. Bd. S. 15—22.

267 Man denke ſich in einen beſtimmten Raum V zwei verſchiedene Gaſe gebracht, wovon das eine die Spannkraft P, das andere die Spannkraft Q zeigen würde, wenn jedes für ſich allein bei der beſtehenden Temperatur beſagten Raum erfüllte. Wenn dieſe Gaſe ſich im Volum V mit einander vermengen, ohne jedoch auf einander chemiſch einzuwirken, ſo wird aus ihrem Zuſammenſeyn eine gewiſſe Spannung hervorgehen, die wir gegenwärtig unterſuchen wollen: Wären die Gaſe im Raume V durch eine bewegliche Scheidewand getrennt, ſo würde zum Gleichgewichte erfordert, daß dieſe von beiden Seiten einerlei Druck erlitte. Heißt die dieſem Drucke entſprechende Spannkraft S, welche zugleich die in der Geſammtmaſſe herrſchende iſt, und ſind V', V'' die Volume, welche die Gaſe hiebei einnehmen, ſo hat man nach dem Mariotte'ſchen Geſetze:

$P : S = V' : V$ und eben ſo $Q : S = V'' : V$, mithin

$P : Q = V' : V''$, folglich auch $P : P + Q = V' : V' + V''$.

Aber es iſt $V' + V'' = V$, daher auch, wie die Vergleichung der letzten Proportion mit der erſten lehrt, $P + Q = S$. In dieſem Falle

kommt alſo die Spannkraft, mit welcher beide Gaſe das gegebene Volum einnehmen, der Summe der Spannkräfte gleich, mit welchen ſie, einzeln betrachtet, dieſes Volum ausfüllen würden. Offenbar iſt dieſe Betrachtung auf den Fall nicht anwendbar, wenn ſich beide Gaſe mit einander gleichförmig mengen; allein die Erfahrung lehrt, daß auch die Spannkraft eines Gasgemenges der Summe der auf denſelben Raum ſich beziehenden Spannkräfte der Gemengtheile gleich iſt. Man erſieht hieraus, daß in einem Gemenge zweier einander nicht chemiſch afficirenden Gaſe jedes den Raum, wie mit derſelben Dichte, eben ſo auch mit derſelben Spannkraft behauptet, welche es zeigen würde, wenn das andere Gas nicht vorhanden wäre oder ſich lediglich wie eine höchſt poröſe, nach allen Richtungen gleich durchdringliche Scheidewand verhielte, die dem Volum des erſteren gar keinen Eintrag thut, weil ſie die Theilchen deſſelben nicht zwingt, einander näher zu treten. Da nun dem zu Folge die Spannkraft eines Gasgemenges nur durch die Abſtoßung beſtimmt wird, welche die Molekel jedes Gemengtheiles auf einander ſelbſt ausüben, alſo jeder Gemengtheil für ſich im Gleichgewichte ſteht; ſo muß man wohl den von Dalton zuerſt ausgeſprochenen Satz gelten laſſen, daß zwei Gaſe, die auf einander keine chemiſche Einwirkung äußern, ſich völlig paſſiv zu einander verhalten, wenn ſie in gegenſeitige Berührung kommen. Die Richtigkeit dieſes Satzes wird noch durch die Erfahrung auf das Augenſcheinlichſte beſtätigt, daß zwei heterogene Gaſe, z. B. Kohlenſäure und Waſſerſtoffgas, die ſich nicht chemiſch mit einander verbinden und bei gleichen Spannkräften in zwei über einander ſtehenden, bloß durch eine Oeffnung mit einander in Communication geſetzten Gefäßen enthalten ſind, ſo zwar, daß das ſpecifiſch ſchwerere (das Kohlenſäuregas) den unteren, das leichtere (das Waſſerſtoffgas) den oberen Raum einnimmt, nicht im Gleichgewichte bleiben, ſondern von jedem ſo viel in den Raum des andern eindringt, als nöthig iſt, um eine völlig gleichförmige Mengung darzuſtellen. Nur erfolgt der Uebertritt jedes Gaſes in den benachbarten Raum langſamer, als wenn dieſer urſprünglich völlig leer geweſen wäre, ſo nämlich, daß jedes Gas für das andere als mechaniſches Hinderniß anzuſehen iſt, welches die Zugänge verengert. Befindet ſich demnach in einem Raume V ein Quantum Q und in einem zweiten Raume V′, der mit erſterem in Communication ſteht, ein Quantum Q eines und deſſelben Gaſes; ſo verhalten ſich die Kräfte, womit die homogenen Gastheile bei gleicher Temperatur an der Verbindungsſtelle auf einander einwirken, nach dem Mariotte'ſchen Geſetze wie $\frac{Q}{V} : \frac{Q'}{V'}$, d. h. wie die denſelben zugehörenden Dichten, es mögen nun in dieſen Räumen noch andere Gaſe vorhanden ſeyn oder nicht.

Von dieſem Geſetze läßt ſich eine wichtige Anwendung auf die atmoſphäriſche Luft machen, die ein Gemenge von Sauerſtoffgas und Stickgas iſt. Wird in einem mit der äußeren Luft in Verbindung ſtehenden Raume durch Athmen oder Verbrennen Sauerſtoff verzehrt,

ſo wird in ſo fern nur das Gleichgewicht des Sauerſtoffes in genanntem Raume mit dem Sauerſtoffe in der Atmoſphäre geſtört, und es dringt aus letzterer, um den Verluſt zu erſetzen, Sauerſtoff in erſteren ein.

268. Bei zwei heterogenen, mit einander durch ſehr enge Oeffnungen in Berührung befindlichen Gaſen erſcheint jedoch das Beſtreben jedes derſelben, in den Raum des andern einzudringen, d. i. ſich zu diffundiren, nicht gleich. Iſt nämlich die Scheidewand, welche zwei Gaſe von einander trennt, für dieſelben durchdringlich, wie z. B. thieriſche Blaſen, Holz, gebrannter, aber nicht glaſirter Thon, gebrannter, in Waſſer abgerührter und hierauf getrockneter Gips ꝛc.; ſo dringen von jedem Gaſe Volume durch die Wand, welche ſich (nach Graham) umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichte der Gaſe verhalten, vorausgeſetzt, daß die Gaſe nicht chemiſch auf einander wirken und ihr Druck zu beiden Seiten der Scheidewand während des ganzen Verlaufes gleich groß erhalten wird. Nachdem von jedem der zwei Gaſe ein dieſem Geſetze entſprechender Theil durch die Scheidewand gegangen iſt, herrſcht Gleichgewicht. Dieſes tritt aber ſchon früher ein und die Strömung der Gaſe durch die Scheidewand hört auf, bevor dieſem Geſetze Genüge geſchehen iſt, wenn der Druck auf die Scheidewand nicht von beiden Seiten gleich erhalten wird.

Verſuche über dieſen Gegenſtand ſtellt man am leichteſten an, indem man ein beiderſeits offenes Glasrohr mit einer Blaſe verbindet, oder noch beſſer, es mit einem Stöpſel von gebranntem, mit Waſſer angemachten und dann in der Luft gut getrockneten Gips verſieht, ein Gas einfüllt, es durch Queckſilber oder, jedoch mit der Vorſicht, den Stöpſel nicht zu benetzen, durch Waſſer ſperrt, und das Ganze ſammt der Sperrflüſſigkeit in ein Gefäß bringt, welches das zweite Gas enthält, ſo daß beide Gaſe durch die Sperrflüſſigkeit und durch die poröſe Scheidewand von einander getrennt ſind. Bei Verſuchen mit irgend einem Gaſe und atm. Luft kann der zweite Recipient wegbleiben. Während des Verſuches muß die Sperrflüſſigkeit ſorgfältig regulirt werden, damit ſie immer in beiden Gefäßen gleich hoch ſtehe. Iſt das in der Röhre befindliche Gasvolum ſtationär geworden, ſo theilt man den Rauminhalt des entwichenen Gaſes durch jenen des dafür eingetretenen, und erhält ſo den Diffuſionsquotienten; Graham fand denſelben für Hydrogengas und atm. Luft im Durchſchnitte aus fünf Verſuchen = 3.848 Wird die Dichte des Hydrogengaſes 0.0688 geſetzt, ſo erhält man, obigem Geſetze gemäß, für dieſen Quotienten 3.8125. (Pogg. Ann. 17. 341; 28. 331; Schweigg. J. 57. 215. Graham's Lehrbuch der Chemie. 1. S. 83.)

Mit der hier betrachteten Diffuſion iſt die Durchführung gewiſſer Gaſe, die vom Waſſer begierig aufgenommen werden, durch feuchte Membranen nicht zu verwechſeln. Gibt man z. B. eine naſſe, mit atm. Luft zum Theil gefüllte und zugebundene Blaſe in eine Kohlenſäure-Atmoſphäre, ſo ſchwillt ſie in Folge des Ueberganges von Kohlenſäure in ſelbe binnen 12—24 Stunden bis zum Berſten auf, während nur ſehr wenig atmoſphäriſche Luft aus der Blaſe entweicht. Hier wird das Gas vom Waſſer verſchluckt, geht mit dieſem durch die Blaſe, und entweicht im Innern wieder nach Geſetzen, deren Erörterung wir ſogleich vornehmen wollen. (Meine Verſuche in Zeitſchrift. 8, 9.).

269. Es iſt bereits bekannt, daß Gaſe von poröſen, feſten und tropfbaren Körpern abſorbirt werden. Der innere Verlauf der Abſorption beſteht darin, daß jener Gasantheil, der vermöge des äußeren Druckes in die Zwiſchenräume des abſorbirenden Körpers getreten iſt, daſelbſt durch die Abſorptionskraft eine Schwächung der ſpecifiſchen Spannkraft erleidet, in Folge deſſen eine neue Gasmenge in die Poren nachrücken muß, bis die vermehrte Dichte die Spannkraft zwiſchen dem freien und abſorbirten Gaſe wieder zur Gleichheit gebracht hat. Die Menge des Gaſes, welches ein Körper abſorbirt, richtet ſich nach der materiellen Beſchaffenheit, namentlich nach der Reinheit beider, und wird überdieß durch Druck und Temperatur bedingt. Sie iſt, wie Henry zuerſt gezeigt hat, bei gleicher Temperatur im Allgemeinen dem Drucke direct proportionirt, ſo daß das Volum des abſorbirten Gaſes für jeden Druck dasſelbe bleibt und ſich nur mit der Beſchaffenheit des Gaſes und des abſorbirenden Körpers ändert. Temperaturerhöhung wirkt der Abſorption entgegen. Ein Körper, der mit einem Gaſe geſättigt iſt, kann noch von einem andern etwas aufnehmen, ja in gewiſſen Fällen wird von einem Gasgemenge ſogar mehr aufgenommen, als wenn man die Gemengtheile einzeln der Abſorption preis gibt. Dichtere, aber doch poröſe Körper, abſorbiren bei ſonſt gleicher materieller Beſchaffenheit mehr als minder dichte, wenigſtens bis zu einer gewiſſen Grenze; durch Pulverform jedoch wird das Abſorptionsvermögen im Allgemeinen geſchwächt.

Unter den feſten, Gaſe abſorbirenden Körpern iſt die Kohle am ſorgfältigſten unterſucht. Es beſtätigen ſich bei ihr die ſo eben ausgeſprochenen Geſetze vollkommen. Trockene und luftleere Kohle abſorbirt mehr als ſolche, die bereits Luft oder Waſſer oder beides aufgenommen hat. Nach Th. v. Sauſſure abſorbirt Korkkohle, deren Dichte 0.1 iſt, faſt keine Luft, Tannenkohle von 0.4 Dichte 4.5 Volume, Buchsbaumkohle von 0.6 Dichte 7.5 Vol., Steinkohle von 1.326 Dichte 10.5 Vol., noch dichtere Kohle aber nichts. Bei einer Temperatur von 11—13° C. werden von Buchsbaumkohle aufgenommen: Ammoniakgas 90 Vol., Kohlenſäuregas 35 Vol., Sauerſtoffgas 9.25 Vol., Stickgas 7.5 Vol., Waſſerſtoffgas 1.75 Vol. Sauerſtoffgas wurde von nachſtehenden Körpern in den folgenden Quantitäten abſorbirt: Meerſchaum 1.49 Vol, Gips 0.58, Haſelholz 0.47, Tannenholz 0.5, Leinfäden 0.35, Wolle 0.43, Seide 0.44. Waſſer abſorbirt von öhlbildendem Gas 0.155 Vol., Stickoxydul 0.76, Kohlenſäure 1.06; Olivenöhl von denſelben Gaſen nach der Ordnung 1.22, 1.50, 1.51 Vol. Das Verhältniß, in welchem Waſſer aus der atm. Luft Sauerſtoffgas und Stickgas aufnimmt, iſt ein anderes als jenes, in welchem dieſe Stoffe ſich in der Luft befinden, und zwar wird vom Sauerſtoffgas vergleichungsweiſe eine größere Menge als vom Stickgas abſorbirt. Das Abſorptionsvermögen der Kohle wurde 1777 von Fontana und Scheele zugleich entdeckt. (S. den Artikel »Abſorption« in Liebig und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie und in der neuen Ausgabe des Gehler'ſchen phyſ. Wörterbuches.)

270. Die von feſten und tropfbaren Körpern abſorbirten Gaſe ſtehen mit den freien nach denſelben Geſetzen im Gleichgewichte, welche für ſolche Gaſe aufgeſtellt worden ſind, die mittelſt einer durchdring-

lichen Scheidewand mit einander communiciren, vorausgeſetzt, daß man die durch die abſorbirende Kraft veränderte Ausdehnſamkeit des abſorbirten Gaſes berückſichtiget. Man denke ſich z. B. Waſſer mit Sauerſtoffgas in Berührung, einen Theil deſſelben bereits abſorbirt, und das freie Gas mit dem abſorbirten im Gleichgewichte. Wird nun die Dichte des freien Gaſes vermehrt, ſo muß auch jene des abſorbirten zunehmen, welches durch Abſorption eines neuen Quantums geſchieht, wenn das Gleichgewicht bei dieſer Lage der Dinge fortdauern ſoll. Auf gleiche Weiſe muß ein Theil des abſorbirten Gaſes frei werden, wenn die Dichte oder der Druck des äußeren vermindert wird. Aendert ſich die Temperatur ſowohl des Gaſes als der abſorbirten Flüſſigkeit auf gleiche Weiſe, ſo nehmen zwar die Expanſivkräfte des freien und des abſorbirten Gaſes auf gleiche Weiſe ab oder zu, aber der Erfolg fällt verſchieden aus, je nachdem das freie Gas entweichen kann oder nicht. Iſt erſteres der Fall, ſo bleibt ungeachtet der Temperaturänderung der Druck des freien Gaſes auf die Flüſſigkeit derſelbe, während die Spannkraft des abſorbirten ſich ändert und beim Erwärmen wächſt, beim Erkalten abnimmt. Es muß daher bei einer Statt habenden Erwärmung ein Theil des abſorbirten Gaſes frei gelaſſen, bei einer Erkältung hingegen ein neues Quantum abſorbirt werden, abgeſehen von der etwa durch die Temperaturänderung hervorgebrachten Modification des Abſorptionsvermögens der Flüſſigkeit. Iſt das nicht abſorbirte Gas ſo eingeſchloſſen, daß es nicht entweichen kann, ſo bringt eine Temperaturänderung im freien und im abſorbirten Antheile dieſelbe Aenderung der Spannkraft hervor, und es wird das Quantum des abſorbirten Gaſes weder vermehrt, noch vermindert. Dieſes iſt das von Dalton auf empiriſchem Wege gefundene Geſetz, vermög welchem das Verhältniß zwiſchen dem abſorbirten und dem freien Gaſe bei jedem Temperaturwechſel unverändert bleibt, wenn nur die tropfbare Flüſſigkeit nicht zum Frieren oder zum Sieden gebracht wird. Bringt man über eine Flüſſigkeit, die ſchon Gas abſorbirt hat, eine andere Luftart, ſo wird zur Herſtellung eines ſtabilen Gleichgewichtes ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, ein Theil des freien abſorbirt, und es tritt ſowohl im abſorbirten als im freiem Gaſe eine gleichförmige Mengung beider ein.

Dieſe Geſetze des Gleichgewichtes abſorbirter Gaſe mit freien ſind nicht bloß in theoretiſcher Hinſicht wichtig, ſondern geſtatten vielfache praktiſche Anwendungen. Sie lehren z. B., daß es nothwendig ſey, ein Barometer von Zeit zu Zeit von Neuem auszukochen, weil vom Queckſilber beſtändig Luft eingeſaugt wird, die ſich nach und nach bis in den Raum ober dem Queckſilber fortſchiebt; daß man auf die Reinheit eines Gaſes, das längere Zeit durch Waſſer oder Queckſilber geſperrt in einem Gefäße aufbewahrt wurde, nicht viel vertrauen dürfe. Faraday fand reines Waſſerſtoffgas, das er in einer, mit einem Glaspfropfe verſehenen, umgekehrten, mit Queckſilber geſperrten Flaſche, aufbewahrte, nach 15 Monaten völlig durch atm. Luft erſetzt; zwei andere, eben ſo vorgerichtete Flaſchen enthielten nach derſelben Zeit ein Gemenge von Waſſerſtoffgas und atm. Luft. (Pogg. Ann. 8. 124) Aus denſelben Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, eine Flüſſigkeit

mit einem Gaſe zu imprägniren oder ſie von einem abſorbirten Gaſe zu befreien. Soll eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, viel von einem Gaſe, z. B. von Kohlenſäuregas aufnehmen (welches beſonders bei der Bereitung vieler künſtlicher Mineralwäſſer der Fall iſt); ſo muß man das freie Gas über der Flüſſigkeit möglichſt ſtark comprimiren und die Arbeit bei einer den Eispunct nicht weit überſteigenden Temperatur vornehmen. Bouteillenbier, junge luftdicht verſchloſſene Weine kommen durch die fortdauernde Gährung ohne unſer Zuthun mit ſtark verdichtetem Kohlenſäuregas in Berührung und nehmen daher ſehr viel davon auf. Um eine Flüſſigkeit von der eingeſaugten Luft zu befreien, kann man mehrere Mittel anwenden: 1) Verdünnung der darüber befindlichen Luft. Setzt man den darauf laſtenden Luftdruck auf $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ ꝛc. herab, ſo wird auch nur $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ ꝛc. des eingeſaugten Gaſes zurückbleiben. Die Wirkſamkeit dieſes Mittels verurſacht das Perlen mouſſirender Weine, der Mineralwäſſer, wenn man eine Flaſche derſelben öffnet. Indeß gibt es doch Gaſe, wie z. B. Ammoniakgas, Salzſäuregas, wovon ſelbſt im luftleeren Raume ein Theil mit Waſſer in Verbindung bleibt. Ich bin geneigt, dieſes als ein Zeichen einer chemiſchen Verbindung des Gaſes mit der tropfbaren Flüſſigkeit zu betrachten und in allen andern Fällen die Abſorption als mechaniſche Wirkung anzuſehen. 2) Veränderung des damit in Berührung ſtehenden Gaſes. Dadurch wird zwar ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, dafür aber ein Theil des neuen Gaſes abſorbirt. 3) Erhitzen oder Erkälten bis zum Frieren. Daher kommen die Luftblaſen im Eiſe. 4) Zuſatz eines gepulverten Stoffes oder eines ſolchen, der ſich in der Flüſſigkeit auflöſet und ein Fluidum erzeugt, das weniger Gas abſorbirt. So z. B. läßt Waſſer die eingeſaugte Luft größtentheils fahren, wenn man Schwefelſäure oder Kochſalz damit miſcht.

D. Dunſtbildung und das Sieden.

271. Wenn man Waſſer in einem offenen Gefäße der freien Luft ausſetzt, ſo vermindert es ſich zuſehends und verſchwindet endlich ganz. Aehnliches geht mit andern Flüſſigkeiten vor, nur mit dem Unterſchiede, daß einige derſelben erſt nach längerer Zeit eine bemerkbare Verminderung erkennen laſſen, wie z. B. Queckſilber, während andere, wie z. B. Weingeiſt, Aether, noch viel ſchneller als Waſſer abnehmen. Man hatte erſt geglaubt, die Luft äußere eine auflöſende Wirkung auf ſolche Flüſſigkeiten und gedachte Maſſeverminderung derſelben rühre davon her; allein dieſe Anſicht kann neben den jetzt bekannten Thatſachen nicht mehr beſtehen und man ſieht es als erwieſen an, daß Flüſſigkeiten ſelbſt bei der gewöhnlichen Lufttemperatur an der Oberfläche einen ausdehnſamen Zuſtand annehmen, d. h. ſich in Dünſte verwandeln, die ſich mit der Luft mengen und weggeführt werden. Es iſt aber, um hierüber eine klare Einſicht zu erlangen, nöthig, vorerſt die Dunſtbildung im leeren Raume und dann erſt die in der Luft kennen zu lernen, indem eine Vergleichung beider Vorgänge vorzügliche Belehrung verſchafft.

272. Man laſſe in den leeren Raum eines Barometers einen Tropfen Waſſer oder eine andere tropfbare Flüſſigkeit aufſteigen. Sobald dieſer das Queckſilber überſtiegen hat, vermindert er ſich, ja wenn ſeine Maſſe im rechten Verhältniſſe zur Größe des leeren Raumes

ſteht, verſchwindet er ganz, und dabei wird die Queckſilberſäule mehr herabgedrückt, als dieß durch das bloße Gewicht des Tropfens geſchehen kann. Es iſt alſo klar, daß ſich eine ausdehnſame Flüſſigkeit, Dunſt, gebildet habe, von deſſen Spannkraft die Verkürzung der Queckſilberſäule herrührt. Iſt die tropfbare Maſſe ſo gering, daß man von dem Drucke abſehen kann, den ſie vermöge ihrer Schwere auf das Queckſilber ausübt; ſo gibt die Depreſſion der Queckſilberſäule zugleich die Spannkraft des entſtandenen Dunſtes an. Läßt man in den leeren Raum des Barometers erſt Luft aufſteigen und dann einen oder mehrere Tropfen der Flüſſigkeiten, um deren Verdünſtung es ſich handelt; ſo überzeugt man ſich, daß ſich beſagte Flüſſigkeiten in der Luft gerade ſo verhalten, wie im leeren Raume, nur mit dem Unterſchiede, daß die Queckſilberſäule langſamer herabgedrückt, mithin die Dunſtbildung durch die Anweſenheit der Luft etwas gehindert wird, es erlangt aber der Dunſt daſelbſt dieſelbe Spannkraft, wie im leeren Raume, wenn überhaupt in beiden Fällen dieſelbe Temperatur herrſcht. Es ſey e die Spannkraft, welche bei der Temperatur, bei welcher der Verſuch gemacht wird, Waſſerdünſte im leeren Raume zeigen, d. h. die Queckſilberſäule des Barometers werde um e Linien durch die Spannkraft des Dunſtes herabgedrückt; man laſſe eine Luftmaſſe in den leeren Raum gelangen, und dieſe nehme daſelbſt den Raum v ein und ſtehe unter dem Drucke p. Läßt man nun Waſſer in dieſen Raum aufſteigen, ſo erweitert ſich in Folge der Dunſtbildung der Raum v um die Größe v′. Demnach ſteht die Luft in dieſem erweiterten Raume nur mehr unter dem Drucke p′, den man nach dem Mariotte'ſchen Geſetze aus der Proportion $p : p' = v + v' : v$ gleich $\frac{vp}{v + v'}$ findet. Da dieſe Druckverminderung von der Spannkraft des Dunſtes e herrührt, ſo muß $\frac{vp}{v+v'} + e = p$ ſeyn, woraus man $e = \frac{pv'}{v+v'}$ findet. Der ſo erhaltene Weg von e ſtimmt mit dem im leeren Raume erhaltenen vollkommen überein und iſt ſogar unabhängig von der Natur der Luft, in welcher die Verdünſtung vor ſich gegangen iſt, zum deutlichen Beweiſe, daß Flüſſigkeiten in der Luft und jeder andern Gasart eben ſo verdünſten, wie im leeren Raume und daß man keine auflöſende Kraft derſelben anzunehmen brauche.

Man kann die Spannkraft der Dünſte in der Luft auch unmittelbar finden, wenn man ſich des in Fig. 92 abgebildeten Apparates bedient. Dieſer beſteht aus einem in gleiche Raumtheile getheilten, oben geſchloſſenen, unten mit einer Stahlfaſſung und einem Stahlhahne verſehenen Glasrohre A von etwa 1 Zoll Durchmeſſer, an deſſen Seite eine engere und längere offene Röhre B angeblaſen iſt. Der ganze Apparat kommt auf ein Geſtell zu ſtehen, ſo daß B einen verticalen Stand hat. Wenn man einen Verſuch machen will, ſo füllt man durch den Hahn das Rohr A halb voll Queckſilber, ſchließt dann den Hahn und ſtellt den Apparat auf ſein Geſtell. Steht das Queckſilber nicht in beiden Schenkeln gleich hoch, ſo erhält man dieſen gleichen Stand durch Zugießen von neuem Queckſilber durch die Röhre B oder durch

Ablaſſen eines Theiles davon mittelſt des Hahnes. Man mißt das Luftvolum im Rohre A. Nun gießt man von der Flüſſigkeit, um deren Dünſte es ſich handelt, etwas in das Rohr B und ſchafft einen Theil dadurch in das Gefäß A, daß man durch den Hahn ſo viel Queckſilber ablaufen läßt, bis jene Flüſſigkeit unter die Zuſammenfügungsſtelle beider Röhren gekommen iſt. Das abgelaſſene Queckſilber füllt man hierauf wieder durch B ein. Neigt man nun das Rohr A, damit ſeine Wände durch die eingefüllte Flüſſigkeit benetzt werden, ſo bilden ſich die Dünſte raſch und das Queckſilber in A fällt. Iſt es zum Stillſtand gekommen, ſo wird ſo viel Queckſilber durch B nachgefüllt, als nothwendig iſt, um Dunſt und Luft auf das frühere Volum zu bringen, und man mißt hierauf die Höhe der im Rohre B zugeſetzten Queckſilberſäule Dieſe gibt die Spannkraft des Dunſtes für die beſtehende Temperatur Man findet ſelbe, wie geſagt, der Spannkraft, welche der Dunſt bei derſelben Temperatur im luftleeren Raume beſitzt, vollkommen gleich.

273. Obwohl viele Flüſſigkeiten bei jeder Temperatur, ſo weit unſere Erfahrung reicht, verdünſten, ja bei einigen Körpern die Verdünſtung ſelbſt dann noch nicht aufhört, wenn ſie den feſten Zuſtand angenommen haben, wie z. B. bei Waſſer, das im leeren Raume ſelbſt als Eis noch bei — 40° der Verdünſtung unterliegt, bei Schwefeläther, der bei — 51°, bei Schwefelwaſſerſtoff, der bei — 62° friert; ſo iſt doch nicht zu zweifeln, daß jede Flüſſigkeit unterhalb einer gewiſſen Temperaturgrenze als nicht flüchtig zu betrachten iſt, weil es einen Zuſtand geben muß, wo die an der Oberfläche herrſchende Molecularabſtoßung das Gewicht der Molekel nicht mehr zu gewältigen vermag. Bei einigen Flüſſigkeiten hat man dieſen Zuſtand bereits kennen gelernt, wie z. B. bei Queckſilber und Schwefelſäure, wovon erſteres unter — 5° R., letztere ſchon bei der gewöhnlichen Lufttemperatur keine Dünſte mehr gibt. Oft wird die Flüchtigkeit eines Körpers durch Beimiſchung eines andern Stoffes, mit dem er ſich nicht chemiſch verbindet, erhöht. So z. B. können Oehle, wenn man ſie dem Waſſer beimengt, ſelbſt bei einer Temperatur überdeſtilliren, bei welcher ſie ſonſt nicht flüchtig ſind. (Faraday in Zeitſchr. 2. 226. Pogg. Ann. 9. 1 und 19. 545.)

274. Temperaturerhöhung vermehrt in der Regel die Flüchtigkeit jeder Flüſſigkeit, doch geht die Verdünſtung meiſt nur an der Oberfläche derſelben, mithin ohne bemerkbares äußeres Zeichen, als die ſucceſſive Verminderung an Maſſe, vor ſich; bei einem beſtimmten Wärmegrade aber beginnt die Verdünſtung auch im Innern und dann ſagt man, die Flüſſigkeit ſiedet. Dem Sieden gehen beſondere Erſcheinungen voraus. Erfolgt, wie dieſes gewöhnlich der Fall iſt, die Erwärmung von unten, ſo macht ſich zuerſt die in der Flüſſigkeit enthaltene Luft los, ſetzt ſich in Form kleiner Bläschen an die Gefäßwände an und entfernt ſich endlich ganz; hierauf ſieht man Dunſtblaſen aufſteigen, die beim Aufſteigen immer kleiner werden und endlich ganz verſchwinden, bevor ſie die Oberfläche erreicht haben. Sie verurſachen durch ihren Uebergang in den tropfbaren Zuſtand jenes eigenthümliche Summen, das dem Sieden vorhergeht und erwärmen dadurch die obere

Maſſe. Hat endlich dieſe den gehörigen Wärmegrad erreicht, ſo ſteigen die Dunſtbläschen bis zur Oberfläche, ſetzen dieſelbe in mehr oder weniger lebhafte Bewegung und verurſachen jenes Wallen und Blaſenwerfen, welches das Sieden charakteriſirt. Flüſſigkeiten, die ſich in der Hitze durch chemiſche Einwirkung der Luft oder aus einem andern Grunde mit einer Haut überziehen, wie z. B. Milch, ſchwellen beim Sieden an und nehmen oft ein Volum ein, welches das Gefäß nicht zu faſſen im Stande iſt (Ueberlaufen ſiedender Körper). Das Zerreißen der Haut durch Umrühren und andere mechaniſche Mittel kann ſie wieder in ihre Grenzen zurückführen.

Eine Flüſſigkeit, die in ihrem Gefäße einen kugelförmigen Tropfen bildet und es daher nur an wenigen Puncten berührt, nimmt nur an dieſem Wärme an. Iſt das Gefäß ſtark erhitzt, ſo iſt zur Fortpflanzung der Wärme in der ganzen Kugelmaſſe nicht Zeit genug, die Erhitzung beſchränkt ſich auf die Berührungsſtelle und in Folge der damit verbundenen Ausdehnung tritt eine Aenderung in der Lage des Schwerpunctes und daher eine Bewegung der Kugel ein. Nun kommt wieder eine andere Stelle mit dem heißen Gefäße in Berührung und die vorher erhitzte Stelle kühlt ab; mit erſterer wiederholt ſich derſelbe Vorgang, und ſo kommt es, daß der Tropfen nicht die zum Sieden nöthige Wärme annehmen kann, bevor nicht die Temperatur des Gefäßes bis zu einem gewiſſen Grade herabgeſunken iſt, aber in ſteter Bewegung erhalten wird. Dieſer Verſuch iſt unter dem Namen Leidenfroſt'ſcher Verſuch bekannt.

275. Die Temperatur, bei welcher eine Flüſſigkeit ſiedet, hängt von ihrer Natur und von dem auf ihr laſtenden Drucke ab. So z. B. braucht Oehl eine höhere Temperatur zum Sieden als Waſſer, dieſes eine höhere als Weingeiſt, dieſer eine höhere als Schwefeläther. Je geringer der auf ihr laſtende Druck iſt, bei deſto geringerer Temperatur tritt das Sieden ein und umgekehrt. Die Dünſte haben dann immer eine dem Drucke, unter welchem ſie entſtanden, gleiche Spannkraft. Solche Dünſte nenne ich Dämpfe und unterſcheide ſie von den unter der Siedhitze entſtehenden, deren Spannkraft geringer iſt, als der auf der Flüſſigkeit laſtende Druck und die ich Dünſte im engeren Sinne nennen werde. Darum ſiedet z. B. Waſſer in verdünnter Luft, unter dem Recipienten der Luftpumpe oder auf hohen Bergen bei einer geringeren Temperatur, als in Luft von gewöhnlichem Drucke; darum kann man Schwefeläther ſchon bei der gewöhnlichen Temperatur in ſtark verdünnter Luft zum Sieden bringen, und aus dieſem Grunde kocht das Waſſer im Pulshammer (einer luftleeren, Waſſer enthaltenden Glasröhre) ſchon, wenn man ihn mit der warmen Hand berührt. Wenn ſich die aus einer ſiedenden Flüſſigkeit aufſteigenden Dämpfe nicht entfernen können, ſo addirt ſich ihre Spannkraft zum atmoſphäriſchen Drucke und bewirkt ſo einen verſtärkten Druck auf die Flüſſigkeit, und dieſe braucht darum wieder eine höhere Temperatur zum Sieden. Daher kommt es, daß Waſſer im Papin'ſchen Digeſtor (einem Gefäße, das luftdicht verſchloſſen, zur Sicherheit mit einem ſich nach außen öffnenden aber durch ein Gewicht belaſteten Ventil ver-

ſehen iſt) eine zum Schmelzen des Zinnes hinreichende Temperatur annehmen kann und daß es in einem Gefäße, welches man während des Siedens der Flüſſigkeit luftdicht geſchloſſen hat, bald zu ſieden aufhört, aber ſelbſt von der Wärmequelle entfernt, wieder zu ſieden beginnt, wenn man die Dämpfe durch Erkältung verdichtet. Die in den unteren Schichten einer ſiedenden Flüſſigkeit entſtehenden Dämpfe haben, des größeren auf ihnen laſtenden Druckes wegen, eine größere Spannkraft, als die weiter aufwärts entſtandenen, und nehmen beim Aufſteigen eine dem verminderten Drucke entſprechende Dichte, Spannkraft und Temperatur an. An der Oberfläche der Flüſſigkeit angelangt, unterliegen ſie nur mehr dem atmoſphäriſchen Drucke. Die Temperatur des austretenden Dampfes oder was daſſelbe iſt, jene der oberſten ſiedenden Schichte iſt der genaue Siedpunct unter dem herrſchenden Luftdrucke. Der Siedpunct einer Flüſſigkeit wird durch chemiſche Verbindung mit einer andern, die erſt bei einer höheren Temperatur ſiedet, erhöht. So z. B. ſiedet Waſſer in Verbindung mit Schwefelſäure ſchwerer als reines Waſſer, Weingeiſt mit Waſſer gemiſcht, ſchwerer als Alkohol; auch bei allen wäſſerigen Salzauflöſungen liegt der Siedpunct höher als bei reinem Waſſer, aber die beim Sieden entſtandenen Dünſte haben dieſelbe Temperatur und Spannkraft, wie die aus dem reinen Waſſer entwickelten, vorausgeſetzt, daß ſie reine Waſſerdämpfe ſind (Rudberg in Pogg. Ann. 34. 257, und Prechtl in ſeiner technol. Encyklopädie, B. 3. 507). Merkwürdig iſt es, daß eine Flüſſigkeit durch einen gepulverten oder poröſen Körper, z. B. durch ein Stück weiches Holz, zum Sieden kommt, wenn es auch noch nicht die hiezu ohne Beihilfe eines ſolchen Mittels nöthige Temperatur beſitzt (Marcet in Pogg. Ann. 57. 218). Daß ſich mit der Verflüchtigung eines Beſtandtheiles beim Sieden auch der Siedpunct ändern müſſe, iſt klar, und hierin liegt der Grund, warum gemiſchte Flüſſigkeiten in der Regel einen veränderlichen Siedpunct haben. Auch ſolche Flüſſigkeiten, die aus zwei chemiſch nicht auf einander wirkenden, in Schichten getheilten Flüſſigkeiten beſtehen, haben einen veränderlichen Siedpunct, und dieſer liegt zwiſchen dem Siedpuncte der flüchtigeren Flüſſigkeit und jener Temperatur, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe beider Beſtandtheile dem Luftdrucke gleich iſt. Iſt demnach die flüchtigere Flüſſigkeit die obere, ſo ſiedet ſie bei ihrem natürlichen Siedpuncte; iſt ſie aber die untere, ſo beginnt ſie erſt zu ſieden, wenn ihre Dünſte eine Spannkraft haben, welche dem auf ihr laſtenden Drucke gleich iſt. Treten aber dieſe Dünſte in die obere Flüſſigkeit ein, ſo bildet der Raum, den ſie einnehmen, für die Dünſte dieſer oberen Flüſſigkeit ein Vacuum; es bilden ſich aus dieſer Dünſte, und der Druck derſelben hilft den von unten kommenden den Luftdruck ertragen. Es erfolgt darum eine Ausdehnung der Dünſte bis zu dem Grade, wo beide zuſammen eine dem Luftdrucke gewachſene Spannkraft haben, und bei dieſer Temperatur ſiedet die ganze Flüſſigkeit.

Auf dem Montblanc ſiedet Waſſer ſchon bei 86½° C., auf dem Pic von Teneriffa bei 88°.7 C., in Quito bei 90°.1, in Mexico bei 92°.3; im Hoſpiz auf dem St. Bernhard hat ſiedendes Waſſer nur die Hitze von 92¼°, und man kann darin Rindfleiſch nicht weich kochen. Da die Siedhitze des Waſſers mit dem Luftdrucke und dieſer mit der Höhe eines Ortes über der Meeresfläche innig zuſammenhängt, ſo hat man ein ſehr empfindliches Thermometer (das $^1/_{1000}$ eines Grades anzeigt) auch zum Höhenmeſſen empfohlen, worüber in der Folge mehr. Folgende Tabelle enthält die Siedpuncte einiger Flüſſigkeiten unter dem gewöhnlichen Luftdrucke:

Schweflige Säure ſiedet bei	— 10°	Jod	180
Blauſäure	+ 26.5	Schwefelſäure conc.	288
Schwefeläther	35.66	Phosphor	250
Schwefelkohlenſtoff	46.6	Schwefel	293
Alkohol	78.42	Leinöhl	315
Waſſer	100	Queckſilber	356
Terpentinöhl	157		

Eine Tabelle über die Siedhitze verſchiedener Salzlöſungen ſiehe in Gmelin's Chemie. Heidelberg 1843. I. S. 239.

276. Die Dünſte mögen nun bei der Siedhitze oder wie immer weit unter dieſer ſich bilden, ſo entſtehen ſie doch immer nur auf Koſten der Wärme, welche ſie binden. Bei der Dunſtbildung unter der Siedhitze erkennt man die Wärmebindung durch die ſie immer begleitende Erkältung der verdunſtenden Flüſſigkeit und ihrer Umgebung, bei der in der Siedhitze, wo ein beſtändiger Wärmezufluß Statt hat, durch das Stationärwerden der Temperatur ungeachtet jenes Zufluſſes.

Von der Wärmebindung beim Verdünſten rührt die Kälte her, welche man an einem naſſen Körpertheile empfindet, ferner die Abkühlung der Luft nach einem Regen, durch Aufſpritzen von Waſſer, die Gefahr vor Verkühlung bei ſtarkem Schweiße, die empfindliche Wirkung feuchter Winde, die Wirkung der poröſen Thongefäße (Alkarazzas) beim Abkühlen des Trinkwaſſers, die Möglichkeit für Menſchen, in einem ſtark erhitzten Raume einige Zeit zu leben, wie dieſes Solander, Banks und Blagden bewieſen haben, die ſich in einem auf 127° C. geheizten Locale aufhielten. Setzt man ein Schälchen Waſſer in ein größeres Gefäß mit Schwefelſäure und bringt beide unter den Recipienten der Luftpumpe, ſo kann man durch raſches Verdünnen der Luft das Waſſer zum Frieren bringen. Befeuchtet man die Kugel eines in einem Recipienten befindlichen Thermometers mit Schwefeläther, ſtellt ein Schälchen mit Schwefelſäure in die Nähe und verdünnt dann die Luft; ſo kann eine bis zum Gefrieren des Queckſilbers ſteigende Erkaltung hervorgebracht werden. Auch durch Verdünſten der flüſſigen ſchwefligen Säure kann man Queckſilber zum Gefrieren bringen. Wollaſton's Kryophor gibt einen ferneren Beleg für obige Behauptung ab. Dieſer beſteht aus zwei Glaskugeln, die durch eine ziemlich lange Glasröhre mit einander verbunden ſind Eine derſelben enthält Waſſer, übrigens iſt der ganze Apparat luftleer. Taucht man die leere Kugel in Schnee oder Eis, ſo friert das Waſſer in der andern. Durch Verdünſtung der tropfbaren Kohlenſäure hat man eine nahe an — 100° C. gehende Kälte hervorgebracht. Aus der Wärmebindung beim Sieden erklärt man: warum ein zinnernes Gefäß beim heftigſten Feuer nicht

ſchmilzt, ſo lange Waſſer darin iſt, den Nutzen des Waſſerbades beim Erhitzen gewiſſer Körper, die Erhitzung des Kühlwaſſers beim Deſtilliren ꝛc.

277. Man kann die Wärmemenge, welche beim Uebergange einer gewiſſen Quantität irgend einer tropfbaren Flüſſigkeit in Dampf gebunden und beim entgegengeſetzten Prozeſſe wieder frei wird (Verdünſtungswärme), durch einen einfachen Verſuch beſtimmen. Man nehme den Apparat Fig. 93, fülle in A die Flüſſigkeit ein, welche ausdehnſam werden ſoll, und laſſe die Dämpfe durch die Röhre B in einen ſchlangenförmigen Anſatz C gelangen, der von einer beſtimmten Menge kalten Waſſers umgeben iſt, damit ſie daſelbſt zerſetzt werden und die gebundene Wärme an das Waſſer abgeben. Es bedeute nun T und M die Temperatur und Menge der Dämpfe, C die Wärmecapacität der aus den Dämpfen entſtehenden tropfbaren Flüſſigkeit, t und m die Temperatur und Maſſe des Waſſers, das die Schlangenröhre umgibt, vor dem Verſuche, t′ die Temperatur deſſelben nach dem Verſuche, xσ die von einer Dampfmenge = 1 gebundene Wärme, wobei σ die ſpecifiſche Wärme des Waſſers anzeigt, ſo daß x die Anzahl Grade, um welche man die Temperatur einer Maſſe Waſſer = 1 damit erwärmen könnte, d. h. die Verdünſtungswärme, in Thermometergraden ausdrückt. Man hat, nach Weglaſſung des allen Gliedern gemeinſchaftlichen Factors σ, da die Dämpfe ſich in einem Zuſtande befinden, wo ſie bei der geringſten Abkühlung in tropfbaren Zuſtand übergehen, die Gleichung

$$CM(T - t') + Mx = m(t' - t), \text{ und hieraus}$$

$$x = \frac{m(t' - t) - CM(T - t')}{M}.$$

Auf dieſem Wege hat Brix neueſtens gefunden, daß man mit der Wärmemenge, welche man braucht, um Waſſer von 100° C. in Dampf von derſelben Temperatur zu verwandeln, eine gleiche Menge Waſſer von 0° auf 539°.6 C. bringen könnte. Auf gleiche Weiſe hat man die Verdünſtungswärme des Alkohols oder Schwefeläthers 90°.8, des Terpentinöhles 76°.8, des Citronenöhles 79°.8, alle auf Waſſer bezogen, gefunden (Brix in Pogg. Ann. 55.341). Heißt demnach die Wärmemenge, welche eine Waſſermaſſe von der Temperatur = 100° C. enthält = 1, ſo iſt die in einer gleichen Dampfmaſſe von der Temperatur 100° enthaltene Wärmemenge = 6.40. In thermiſcher Hinſicht iſt demnach eine Maſſe Waſſerdampf von 100° C. mit einer 6.4mal größeren Waſſermaſſe von 100° C. gleichwerthig.

278. Es iſt intereſſant zu erfahren, ob die bei verſchiedenen Temperaturen entſtandenen Dünſte auch zu ihrem Beſtehen einer verſchiedenen Wärmemenge bedürfen, oder ob die Verdünſtungswärme von der Temperatur der Dunſtbildung unabhängig ſey. Sowohl das eine als das andere iſt bereits von verdienten Phyſikern behauptet worden, doch hat in der neueſten Zeit Pambour außer Zweifel geſetzt, daß Dünſte deſto mehr gebundene Wärme enthalten, je geringer ihre Tem-

peratur iſt, daß aber die Summe der freien und gebundenen Wärme imme eine conſtante Größe ſey. Nimmt man die Verdünſtungswärme in runder Zahl = 540, ſo iſt die Summe der freien und gebundenen Wärme für Dünſte von 100° C. gleich 640 und dieſe Summe gilt demnach für Dünſte von jeder Temperatur. Die latente Wärme von Dünſten, deren Temperatur = t° iſt, wird demnach durch 640 — t ausgedrückt.

E. Spannkraft und Dichte der Dünſte.

279. Die für die bevorſtehenden Unterſuchungen über Dünſte wichtigſten Eigenſchaften derſelben ſind ihre Spannkraft und Dichte. Dieſe muß man darum gründlich kennen lernen, und da dieſes nur auf dem Erfahrungswege möglich iſt, ſo müſſen hier die Verfahrungsweiſen aus einander geſetzt werden, welche zu dieſer Kenntniß führen.

Der Apparat, durch welchen man die Größe der Spannkraft der Dünſte beſtimmt, iſt verſchieden, je nachdem man es mit Dünſten unter und über der Siedhitze, unter oder über dem Eispuncte zu thun hat. Für Dünſte über 0° und unter 100° C. braucht man am beſten den von Dalton angegebenen Apparat Fig. 94. Er beſteht aus einem gewöhnlichen Gefäßbarometer a mit einer durch ſeine ganze Länge ſich erſtreckenden Scale. Die Barometerröhre iſt von einer weiteren Glasröhre b umgeben, die oben offen iſt und durch deren Boden die Röhre a luftdicht eingeſchoben worden. Beim Gebrauche läßt man einige Tropfen der zu unterſuchenden Flüſſigkeit in den leeren Raum des Barometers aufſteigen, füllt den Zwiſchenraum beider Röhren mit Waſſer aus, bringt alles nach und nach auf verſchiedene Temperaturen, die man mittelſt eines Thermometers mit cylindriſchem Gefäße mißt, und vergleicht bei jeder Temperatur die Höhe der Queckſilberſäule in dieſem Barometer mit der in einem gewöhnlichen. Der Unterſchied gibt offenbar die Größe der Expanſivkraft der entſtandenen Dünſte an. Für höhere Temperaturen bedient man ſich einer, der heberförmigen Röhre ab (Fig. 95) ähnlichen Vorrichtung, in deren geſchloſſenen Arm b man die Flüſſigkeit bringt, um deren Dünſte es ſich handelt; den übrigen Raum füllt man mit Queckſilber und ſetzt den Apparat wieder den beabſichtigten Temperaturen aus. So wie dem Dunſte eine Spannkraft entſpricht, die größer iſt als der auf die eingeſperrte Flüſſigkeit ausgeübte Druck von Seite der Queckſilberſäule im Apparate und der äußeren Luft, wird das Queckſilber im eingeſchloſſenen Schenkel herabgedrückt und die Summe aus der Höhe der Queckſilberſäule in einem gleichzeitig beobachteten Barometer und derjenigen Säule, um welche das Queckſilber im offenen Arme höher ſteht, als im geſchloſſenen, iſt wieder das Maß der Expanſivkraft der Dünſte. Für Temperaturen unter dem Eispuncte, wo das in der äußeren Röhre entſtandene Eis keine Beobachtung des Standes der Queckſilberſäule mehr erlaubt, hat Gay-Luſſac ſeine Barometerröhre am oberen

Ende ſchief gebogen (Fig. 96) und ſie daſelbſt in eine erkältende Miſchung getaucht. Da müſſen alle Dünſte in der Röhre wegen der Kleinheit des Raumes und dem Beſtreben des Dunſtes ſich darin in das Gleichgewicht zu ſetzen, die Spannkraft annehmen, welche der mindeſten daſelbſt herrſchenden Temperatur entſpricht, und man kann ſie wieder leicht aus der Differenz im Stande dieſes Barometers und eines andern daneben befindlichen entnehmen. Um endlich die Spannkraft des Waſſerdunſtes, deſſen Verhalten den Phyſiker am meiſten intereſſirt, bei jeder herrſchenden Temperatur der Atmoſphäre beobachten zu können, empfiehlt Prechtl die in Fig. 97 abgebildete Vorrichtung, welche gleichſam ein abgekürztes, gleichſchenkliges, ganz geſchloſſenes Heberbarometer vorſtellt, in deſſen einem Arme ſich etwas Waſſer befindet, das den Dunſt liefert. Da gibt der Höhenunterſchied der Queckſilberſäulen in beiden Armen die Größe der Spannkraft der Dünſte an.

Alle dieſe Apparate, mit Ausnahme des letztern, laſſen ſich auch brauchen, um Flüſſigkeiten in der Luft oder einem beliebigen Gaſe verdünſten zu laſſen, indem man nur dieſes Gas in den leeren Raum des Barometers bringt und die betreffende Flüſſigkeit nachfolgen läßt. Uebrigens iſt für ſolche Verſuche vorzugsweiſe der Apparat Fig. 92 geeignet, von deſſen Behandlung ſchon die Rede war.

280. Das, was man auf dieſem Wege über die Spannkraft der Dünſte kennen gelernt hat, beſteht in Folgendem: 1) Bei jeder Temperatur, die über einer gewiſſen Grenze liegt, bildet ſich im leeren Raume ſo viel Dunſt, bis er eine gewiſſe Dichte und Spannkraft erreicht hat. Dieſe Größe hängt bloß von der Natur der Flüſſigkeit und von der Temperatur ab, und kann bei derſelben Temperatur und Flüſſigkeit nicht geſteigert werden, man nennt ſie darum auch Maximum der Dichte und Spannkraft. Wenn die Grenze erreicht iſt, ſagt man, der Raum ſey mit Dunſt geſättiget. Wollte man dieſe Spannkraft oder Dichte durch die Mittel vergrößern, durch welche man ſolches bei Gaſen bewirkt, wie durch Verminderung des Volums oder durch Zuſatz neuer Dünſte; ſo würde man dadurch nur bewirken, daß ein Theil Dunſt in tropfbaren Zuſtand überginge, bis der Reſt wieder ſeine alte Spannkraft und Dichte behaupten kann. Hingegen verhält ſich Dunſt, ſo lange er ſich unter dem Maximum ſeiner Dichte und Spannkraft befindet, genau wie ein Gas; er zieht ſich beim Erkalten gleich einem ſolchen zuſammen, er dehnt ſich bei der Wärme eben ſo aus und befolgt beim Zuſammendrücken bis zu der Grenze, wo ſein Maximum eintritt, das Mariotte'ſche Geſetz. 2) Bei derſelben Flüſſigkeit wächſt das Maximum der Spannkraft und Dichte mit der Temperatur, und zwar in größerem Verhältniſſe als dieſe, indem nicht bloß der ſchon gebildete Dunſt eine größere Spannkraft erhält, ſondern ſich noch dazu neuer bildet, vorausgeſetzt, daß es an der dazu nöthigen Flüſſigkeit nicht gebricht. 3) In einem ungleich erwärmten Raume nimmt der Dunſt das der niederen Temperatur entſprechende Maximum der Spannkraft an.

4) Bringt man in die verdünſtende Flüſſigkeit einen Stoff, der ſich in derſelben auflöſet, ſo hat dieſes in der Regel zur Folge, daß die Spannkraft der Dünſte geringer wird. Die Größe dieſer Verringerung richtet ſich nach der Natur und Menge der löslichen Subſtanz; aber die Temperatur, bei welcher die Löſung ſiedet, entſpricht auch da einer dem auf der Flüſſigkeit laſtenden Drucke gleichen Spannkraft. 5) Für verſchiedene Flüſſigkeiten hat der Dunſt bei derſelben Temperatur eine verſchiedene Dichte und Spannkraft, und zwar iſt letztere deſto größer, je leichter die Flüſſigkeit ſiedet. Schwefeläther gibt daher ſchon bei gewöhnlicher Luftwärme Dünſte von bedeutender Spannkraft, Queckſilber aber nur ſolche, deren Spannkraft nicht einmal den Barometerſtand merklich afficirt. Man hat einſt geglaubt, aus dem Unterſchiede der Siedhitzen zweier Flüſſigkeiten auf das Verhältniß der Spannkraft ihrer Dünſte bei gleicher Temperatur ſchließen zu können, doch hat ſich dieſes nicht beſtätiget und man kann zur Kenntniß dieſes Verhältniſſes nur auf dem Wege directer Erfahrung gelangen; aber ſo viel iſt vorhinein gewiß, daß die Spannkraft der Dünſte bei der Siedhitze immer dem auf der Flüſſigkeit laſtenden Drucke gleich iſt. 6) In einem Luft oder ein anderes Gas enthaltenden Raume bildet ſich eben ſo viel Dunſt und das jeder Temperatur entſprechende Maximum ſeiner Dichte und Spannkraft iſt dasſelbe, wie bei Dunſt im leeren Raume, vorausgeſetzt, daß zwiſchen dem Dunſte und dem betreffenden Gaſe keine chemiſche Einwirkung Statt hat. Sonſt liegt der Unterſchied zwiſchen dem Verhalten im leeren Raume und in einem Gaſe nur darin, daß der Dunſt in letzterem ſein Maximum ſpäter erreicht, indem die Gaſe dem Entſtehen der Dünſte ein mechaniſches Hinderniß in den Weg ſetzen, ſo etwa wie Sand das Fortfließen des Waſſers verzögert. Aus allem dieſen erſieht man, daß ſich Dünſte von Gaſen nur darin unterſcheiden, daß ſich letztere innerhalb weiterer Grenzen nach dem Mariotte'ſchen Geſetze richten als erſtere.

281. Unter allen Flüſſigkeiten iſt das Waſſer diejenige, deren Dünſte für den Phyſiker aus einleuchtenden Gründen das meiſte Intereſſe haben. Man hat ſich darum auch vielfach bemüht, einen mathematiſchen Ausdruck zu finden, welcher den Zuſammenhang zwiſchen der Spannkraft und Temperatur darſtellt. Bisher haben es aber nur wenige unternommen, auf theoretiſchem Wege zu dieſem Ziele zu gelangen, und die von ihnen gefundenen Formeln ſtellen die Erfahrungsdaten nicht genau genug dar (Wrede in Pogg. Ann. 53. 225), die übrigen lieferten nur mehr oder weniger genaue, bloß durch Probieren gefundene Interpolationsformeln und dieſe haben daher auch nur einen ſehr untergeordneten Werth. Nachfolgende Tabelle gibt die Spannkraft der Waſſerdünſte für die nebenſtehenden Temperaturen an.

Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.
— 20	0.607	— 5	1.667	10	4.316	25	10.517
19	0.651	4	1.780	11	4.589	26	11.137
18	0.697	3	1.899	12	4.877	27	11.789
17	0.746	2	2.026	13	5.183	28	12.476
16	0.799	1	2.161	14	5.506	29	13.199
15	0.856	0	2.304	15	5.847	30	13.961
14	0.916	+ 1	2.457	16	6.208	35	18.406
13	0.980	2	2.618	17	6.590	40	24.143
12	1.049	3	2.789	18	6.993	50	40.461
11	1.121	4	2.971	19	7.419	60	65.900
10	1.198	5	3.164	20	7.869	70	104.34
9	1.281	6	3.369	21	8.343	80	160.39
8	1.369	7	3.585	22	8.844	90	239.29
7	1.462	8	3.815	23	9.373	100	345.42
6	1.561	9	4.058	24	9.930	110	485.59

282. Ein anderes wichtiges Problem iſt die Beſtimmung der Dichte des Dunſtes eines gegebenen Stoffes bei feſtgeſetzter Spannkraft und Temperatur. Man kann es auf zwei verſchiedenen Wegen löſen. Bei dem einen mißt man das Dunſtvolum, das man von einer gegebenen Menge Flüſſigkeit erhalten hat, bei dem andern beſtimmt man das Gewicht eines beſtimmten Dampfvolumes. Um erwähntes Problem auf dem erſten Wege zu löſen, iſt es nothwendig, eine abgewogene Menge Flüſſigkeit in einen geſchloſſenen Raum zu bringen, ſie in Dunſt zu verwandeln und mit Beachtung der herrſchenden Spannkraft und Temperatur, das Volum deſſelben zu beſtimmen. Dahin gelangte Gay-Luſſac für Waſſer durch folgendes Verfahren: Ein kleines hohles Glaskügelchen, das in ein dünnes Röhrchen auslief, wurde im leeren Zuſtande abgewogen, hierauf mit Waſſer gefüllt, zugeſchmolzen, wieder gewogen und ſo das Gewicht des Inhaltes genau gefunden. Dieſes Kügelchen wurde in einen in gleiche Theile getheilten, mit reinem Queckſilber gefüllten Recipienten gebracht und derſelbe erhitzt, bis das Waſſer die Glashülle zerſprengte, wo ſich dann Dunſt bildete, deſſen Volum man meſſen und mit dem eines gleichen Gewichtes einer gleich warmen Luftmaſſe vergleichen konnte. Bevor dieſes geſchah, mußte der Dunſt nach dem Mariotte'ſchen Geſetze auf den vollen Luftdruck reducirt werden. So fand man, daß Waſſerdunſt bei 100° C. und 0,76 Meter Barometerhöhe 1700mal leichter iſt als Waſſer bei 0° C. Aber die Luft iſt unter genanntem Drucke bei 0° C. 770mal, mithin bei 100° C. 770 (1 + 0,366), d. h. 1052mal leichter als Waſſer; es verhält ſich daher die Dichte des Dunſtes unter genannten Umſtänden zur Dichte der Luft, wie 1052 zu 1700, d. h. nahe wie 10 : 16. Man kann dieſes Reſultat auch auf alle andern Temperaturen und Spannkräfte ausdehnen und daher annehmen, daß überhaupt die Dichte des Waſſerdunſtes $^{10}/_{16}$ von jener der Luft unter

denſelben Umſtänden beträgt. Auf ähnliche Weiſe findet man die Dichte des Alkoholdunſtes = 1.60, des Schwefelätherdunſtes = 2.58 u. dgl.

283. Zur Beſtimmung der Dichte des Dunſtes eines Stoffes auf dem zweiten Wege bringt man in ein ſchickliches Gefäß eine Menge des Stoffes, deren Dunſt einen Raum einnimmt, der den Inhalt des Gefäßes viele Male übertrifft, und nachdem man die Mündung des Gefäßes in eine Spitze ausgezogen hat, erhitzt man dasſelbe ſo lange, bis kein Dunſt mehr entweicht und ſchmilzt ſodann die Spitze zu. Die im Gefäße enthaltene Luft wird hiebei ausgetrieben, und der Dunſt hat die Spannkraft der umgebenden Luft. Die Wägung des mit dem Dunſte, mit Luft und endlich mit Waſſer gefüllten Gefäßes, nebſt Temperatur und Barometerſtand, geben die Daten zur Beſtimmung der Dichte des Dunſtes. So hat man z. B. die Dichte des Schwefeldunſtes = 6.654 gefunden. (Pogg. Ann. 41. 449.)

284. Man kann auch die Dichte des Dunſtes eines zuſammengeſetzten Stoffes, deſſen Beſtandtheile unter den gewöhnlichen Umſtänden gasförmig auftreten, wie dieß gerade bei dem Waſſer der Fall iſt, aus den bekannten Dichten dieſer Beſtandtheile nach der in 260 angegebenen Methode berechnen; auf die Dichte des Dunſtes eines einfachen Stoffes aber entweder durch Umkehrung dieſes Verfahrens aus der Dichte eines Gaſes, wovon er ein Beſtandtheil iſt, oder mit gehöriger Vorſicht, aus ſeinem Atomgewichte ſchließen.

Nimmt man an, daß durch Verbrennung von 2 Vol Waſſerſtoffgas in 1 Vol. Sauerſtoffgas 2 Vol. Waſſer gebildet werden, ſo findet man, weil die Dichte des Waſſerſtoffgaſes = 0.0688 und jene des Sauerſtoffgaſes = 1.1026 iſt, in ſofern die Dichte der atm. Luft als Einheit betrachtet wird, die Dichte des Waſſerdunſtes = 1.2402 : 2 = 0.6201, was mit obigem Reſultate (0.6188) nahe übereinſtimmt.

Um die Dichte des Alkohol- oder Aetherdunſtes auf dieſem Wege zu berechnen, muß man vorerſt die Dichte des Kohlendunſtes kennen, d. h jene, welche der Kohlenſtoff haben würde, wenn er luftförmig erſchiene Unter der Vorausſetzung, daß 2 Vol Kohlenoxydgas aus 1 Vol. Sauerſtoffgas und 1 Vol Kohlendunſt beſtehen, folgt aus der Dichte des Kohlenoxydgaſes = 0.9727 und aus jener des Sauerſtoffes, die Dichte des Kohlendunſtes = 0.8428. Dasſelbe Reſultat erhält man, wenn man annimmt, daß 1 Vol. Kohlendunſt mit 2 Vol. Sauerſtoffgas 1 Vol. Kohlenſäuregas, deſſen Dichte = 1.524 iſt, liefert. Betrachtet man nun 2 Vol. Aetherdunſt als das Reſultat der Verbindung von 4 Vol. Kohlendunſt mit 10 Vol. Waſſerſtoffgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas, ferner 2 Vol. Alkohol als hervorgehend aus 2 Vol. Kohlendunſt, 6 Vol. Waſſerſtoffgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas, wozu die ſtöchiometriſchen Formeln dieſer Stoffe die Anleitung geben; ſo findet man die Dichte des Aetherdunſtes = 2.5809 und die Dichte des Alkoholdunſtes = 1.6005.

Die Dichte des Kohlendunſtes ergibt ſich unmittelbar aus dem Atomgewichte des Kohlenſtoffes, bezogen auf O = 1, wenn man dasſelbe durch die Dichte des Sauerſtoffgaſes dividirt. In den meiſten Fällen kann man in der That die Dichten einfacher gasförmiger Stoffe ihren Atomgewichten proportional ſetzen, doch geht dieß nicht allgemein an, wie aus den Reſultaten erhellet, zu welchen Dumas und Mitſcherlich geführt wurden; denn es zeigte ſich das Schwefelgas dreimal, das

Phoſphorgas zweimal dichter als nach dieſer Annahme. Indeſſen ſteht in allen bisher beobachteten Fällen die Dichte eines gasförmigen Grundſtoffes zu ſeinem Atomgewichte in einem einfachen Verhältniſſe. Eine ſehr reiche Tafel der Dichten enthält das Handwörterbuch der Chemie, Bd. 2. S. 478.

285. Kennt man die Dichte der Dünſte bei gleicher abſoluter Spannkraft, ſo kann man daraus auch deren ſpeciſche Spannkraft berechnen. Auf ſolche Weiſe findet man die ſpecifiſche Expanſivkraft des Waſſerdunſtes, jene der atm. Luft als Einheit angenommen, gleich 1.61, des Alkoholdunſtes = 0.62, des Aetherdunſtes = 0.39.

F. Gleichgewicht der Dünſte (Hygrometrie).

286. Die Geſetze des Gleichgewichtes, welche für Gaſe aufgeſtellt worden ſind, laſſen ſich unbeſchränkt auf Dünſte anwenden, ſo lange dieſe ſich unter dem Maximum ihrer Spannkraft befinden. Nehmen aber dieſe Geſetze eine Spannkraft in Anſpruch, welche größer iſt als jenes Maximum; ſo tritt eine Zerſetzung der Dünſte ein und es bleibt nur ſo viel davon übrig, als beſtehen kann, ohne dieſes Maximum zu überſchreiten. Der zerſetzte Dunſt liefert höchſt feine Tröpfchen, die ſich an die Gefäßwände abſetzen, wenn dieſe eine Adhäſion zu denſelben haben. Sind die Dünſte mit Luft gemengt, ſo bleiben dieſe Tröpfchen in der Luft ſchweben, trüben dieſelbe und bewirken ſo jene Erſcheinungen, die man im Allgemeinen Nebel nennt.

287. Dünſte, die ſich unter dem Maximum ihrer Spannkraft befinden oder dieſes doch nicht zu überſchreiten genöthiget ſind, mengen ſich mit atm. Luft und andern Gaſen nach denſelben Geſetzen, nach welchen Gaſe unter ſich im Gleichgewichte ſtehen. Dieſem gemäß beſteht der Dunſt in einem ſolchen Raume für ſich, und das Quantum, welches der Raum faßt, iſt gleich groß, es mag ſich daſelbſt überdieß auch noch ein Gas befinden oder nicht. Da, wo der beſagte Raum einer Erweiterung fähig iſt, erfolgt dieſe ſo, als wäre der Druck auf das Gas um die Expanſivkraft des Dunſtes geringer geworden. Es läßt ſich daher dieſe Vergrößerung des Volums nach dem Mariotteſchen Geſetze berechnen.

288. Die atmoſphäriſche Luft enthält ſtets Waſſerdünſte, jedoch ſelten ſo viel, als ſie aufzunehmen vermag, d. h. ſo viel, daß ſie die größte Spannkraft beſäßen, welche ſie bei den obwaltenden Umſtänden beſitzen können. Der jeweilige Barometer gibt demnach nicht bloß den Druck der atmoſphäriſchen Luft an, ſondern dieſen und den des Waſſerdunſtes. Um den von der Luft allein herrührenden Druck zu finden, muß man von dem Stande des Barometers ſo viel abziehen, als auf Rechnung der Spannkraft des Dunſtes kommt. Letztere Größe muß alſo beſonders beſtimmt werden. Kennt man ſie, ſo kann man auch die Dunſtmenge dem Gewichte nach beſtimmen, die in einer Volumeneinheit des Raumes enthalten iſt und zugleich angeben, wie ſich dieſe zu jenem Quantum verhalte, das der Raum bei der herrſchenden Temperatur zu faſſen im Stande iſt. Man nennt dieſes Verhältniß die

relative Dunſtmenge, ſo wie man das Verhältniß der Spannkraft der Dünſte zum Maximum derſelben relative Spannkraft nennt. Man kann nachweiſen, daß die relative Dunſtmenge oder die relative Spannkraft des Dunſtes durch dieſelbe Zahl ausgedrückt werden.

289. Bezeichnet man durch e die herrſchende Spannkraft des Dunſtes, ausgedrückt durch die Höhe der äquivalenten Queckſilberſäule, durch t die Temperatur, durch B den Normalbarometerſtand, durch σ das ſpecifiſche Gewicht der Luft auf den Normalbarometerſtand und auf die Temperatur 0° C. bezogen, durch α den Ausdehnungscoefficienten der Luft für 1° C., und durch β die Dichte des Dunſtes im Vergleich mit jener der Luft bei gleicher Spannkraft und Temperatur, wobei alſo $\alpha = 0.00366$ und $\beta = 0.6188$ iſt; ſo gibt $\frac{\sigma}{1+\alpha t}$ das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei dem Barometerſtande B und bei der Temperatur t an; $\frac{e}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$ iſt das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei der Spannkraft e und der Temperatur t, und daher, wenn man das ſpecifiſche Gewicht des mit der Spannkraft e verſehenen Waſſerdunſtes bei dieſer Temperatur s nennt, $s = \frac{\beta e}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$. Man ſieht hieraus, wie man, wenn Spannkraft und Temperatur des Dunſtes gegeben ſind, die Menge des in der Volumeinheit befindlichen Dunſtes, und umgekehrt aus dieſer Menge und aus der Temperatur die Spannkraft finden könne. Bezeichnet endlich für die herrſchende Temperatur E das Maximum der Spannkraft, S das Maximum des ſpecifiſchen Gewichtes und f die vorhandene relative Spannkraft des Dunſtes; ſo iſt $f = \frac{e}{E}$ und wegen $S = \frac{\beta E}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$ auch $\frac{s}{S} = \frac{e}{E} = f$, wodurch ſich die Einerleiheit der relativen Spannung und Menge des Dunſtes beſtätiget. Aus dem Ganzen erhellet aber, daß wenn nebſt der herrſchenden Temperatur von den drei Größen e, s und f eine bekannt iſt, die Angabe der beiden andern das Reſultat einer einfachen Rechnung iſt und demnach keiner weiteren Schwierigkeit unterliegt.

290. Soll nun die in einem gegebenen Raume enthaltene Dunſtmenge beſtimmt werden, ſo braucht man nur die Größe dieſes Raumes und die Größe s zu kennen; letztere aber ſetzt nebſt den conſtanten Größen β, B, σ und α die Kenntniß der Größen t und e voraus. t läßt ſich auf die bekannte Art beſtimmen und es erübriget demnach bloß die Beſtimmung der Größe e, d. h. die Spannkraft der Dünſte. Zur Ausmittlung dieſer braucht man eigene Inſtrumente, die man Hygrometer (Feuchtigkeitsmeſſer) nennt. Man hat deren mehrere Arten, wovon jede Art auf eigenen Grundſätzen beruht.

291. Die eine Art Hygrometer wird aus folgender Betrachtung verſtändlich: Man denke ſich in dem Raume, worin ſich die hinſichtlich ihrer Spannkraft zu unterſuchenden Dünſte befinden, einen Körper,

deſſen Dimenſionen gegen jene des Raumes als unmerklich klein betrachtet werden dürfen, und deſſen Temperatur man ſtufenweiſe zu erniedrigen im Stande iſt. Wird dieſer Körper kälter, ſo werden es auch die ihn berührenden Dünſte, und da die Theilchen derſelben unabhängig von der beigemengten Luft auf einander wirken und nach Gleichgewicht ſtreben; ſo wird der Verluſt an Spannkraft, den der Dunſt in Folge der Abkühlung erleidet zur Folge haben, daß die kälteren Dunſttheilchen durch den Druck der übrigen Dunſtmaſſe näher an einander gedrängt, d. i. verdichtet werden, darum einander ſtärker abſtoßen und nun wieder in den Stand kommen, der Expanſivkraft der angrenzenden Dunſttheile das Gleichgewicht zu halten. Wäre das Volum der Dunſtmenge, auf welche ſich der erkältende Einfluß des Körpers erſtreckt, ein namhafter Theil des geſammten Raumes, ſo zöge der ſo eben betrachtete Vorgang eine Aenderung der urſprünglich vorhandenen Expanſivkraft des geſammten Dunſtes nach ſich; allein unter der Vorausſetzung, welche wir bezüglich der Größe des erkalteten Körpers gemacht haben, darf man wohl annehmen, daß ſich die Temperaturänderung nur auf eine kleine Diſtanz vom Körper erſtrecke, und daß die daſelbſt eintretende Verſchiebung der Dunſttheile im übrigen Dunſte keine merkliche Aenderung herbeiführen werde. Es behält demnach die Spannkraft des mit dem Körper in unmittelbarer Berührung ſtehenden Dunſtes während der Abkühlung ſtets dieſelbe Größe bei, welche ſie früher hatte. Da jedoch die Spannkraft des Dunſtes ein gewiſſes, von der Temperatur abhängendes Maximum nicht überſchreiten kann, ſo geht alſogleich ein Theil des mit dem kälteren Körper in Berührung ſtehenden Dunſtes in tropfbaren Zuſtand über, ſobald die zum Beſtehen des Gleichgewichts in der ganzen Dunſtmenge nöthige Spannkraft unter jenes Maximum zu ſtehen kommt. Der ſo zerſetzte Dunſt erſcheint am erkaltenden Körper als ein wäſſeriger Ueberzug, ähnlich dem Thau, und kann bei ſehr niedriger Temperatur ſogar gefrieren, d. h. einen ſogenannten Reif bilden. Aus dem Geſagten ergibt ſich die für die Hygrometrie höchſt wichtige Folgerung, daß wenn man die Temperatur kennt, bei welcher der in einem hinreichend weitem Raume vorhandene Dunſt während der ſucceſſiven Abkühlung eines kleinen Körpers ſeine expanſible Form zu verlaſſen beginnt, man nur das dieſer Temperatur entſprechende Maximum der Spannkraft des Dunſtes aufzuſuchen brauche, um damit zugleich die Expanſivkraft zu erhalten, die dem wirklich vorhandenen Dunſte eigen iſt. Man nennt die Temperatur, bei welcher der Uebergang des Dunſtes in tropfbare Flüſſigkeit erfolgt, die **Bethauungstemperatur**, auch den **Thaupunct** des Dunſtes. Daher gilt der Satz: Die abſolute Spannkraft des Dunſtes iſt zugleich das ſeiner Bethauungstemperatur entſprechende Spannkraft-Maximum, vorausgeſetzt, daß die Erkältung nur einen unmerklichen Theil des Dunſtes trifft.

292. Das ſo eben entwickelte Verfahren läßt ſich auf die leichteſte und ſicherſte Weiſe in Ausführung bringen, wenn man die Kugel

eines Thermometers als den zu erkältenden Körper wählt. Man überwickelt dieſelbe zu dieſem Zwecke mit Muſſelin und bedeckt deren untere Hälfte mit einem vergoldeten polirten, gut anſchließenden Schälchen von ſehr dünnem Meſſing= oder Silberbleche. Benetzt man die Muſſelindecke mit einigen Tropfen Schwefeläther, ſo entzieht dieſer bei ſeinem raſchen Verdünſten der Thermometerkugel Wärme, das Schälchen wird abgekühlt, und die polirte Metallfläche, auf welcher der leiſeſte Hauchanflug leicht wahrzunehmen iſt, zeigt ſich bald durch eine Thaulage getrübt. Der Queckſilberſtand des Thermometers im Augenblicke, wo dieſe Trübung erſcheint, gibt den Thaupunct an. Nimmt man die genannter Temperatur correſpondirende Zahl aus der Tafel (281), ſo hat man das Maß der Spannkraft der das Thermometer umgebenden Dünſte. Dieſes Inſtrument, welches man das Schwefelätherhygrometer nennt, wurde von Körner als Vereinfachung einer von Daniell erdachten, auf dasſelbe Princip ſich gründenden, zwar höchſt ſinnreichen, aber complicirten und ſchwieriger anzufertigenden Vorrichtung angegeben.

Daniell's Hygrometer iſt in Fig. 98 abgebildet. A iſt eine gläſerne oder metallene, fein polirte und luftdichte Kugel, die etwas Schwefeläther und die Kugel eines empfindlichen Thermometers enthält, und mittelſt der Röhre B mit einer zweiten ähnlichen Kugel C verbunden iſt, welche von außen mit feinem Muſſelin umwickelt worden. Beide Kugeln ſammt der Röhre B ſind luftleer und enthalten nur Aether. Wird durch die Wärme der Hand aller Aether in die Kugel A getrieben, und hierauf C von außen mit Aether befeuchtet, ſo verurſacht die durch das Verdünſten entſtandene Kälte eine Verdichtung des inwendigen Aetherdunſtes, mithin eine neue Verdünſtung in A und dadurch ein Sinken des Thermometers. Sobald A ſo weit erkältet iſt, daß ſich an der Kugel rings um die Oberfläche des Aethers ein ſchmaler Thauring bildet, beobachtet man das Thermometer in A, und findet für ſeine Anzeige in der Tafel 281 die Expanſivkraft des Dunſtes. Was hier Daniell durch das Benetzen der Kugel C, das bringt Döbereiner dadurch hervor, daß er Luftblaſen durch den Aether leitet. (Gilb. Ann. 70. 135.) Die erſte Idee der Benützung der Beſtimmung des Thaupunctes zu hygrometriſchem Zwecke hatte ſchon Le Roy um die Mitte des vorigen Jahrhunderts; allein erſt Dalton nahm ſie wieder auf und betrachtete ſie aus dem wahren Geſichtspuncte. Er nahm ein Cylinderglas mit dünnen Wänden, füllte es mit einer Maſſe, welche das Glas und mittelſt deſſen auch die dasſelbe umgebende Luft ſo weit abzukühlen vermochte, daß ſich ein feiner Thau an den Wänden anzuſetzen begann, zum Zeichen, daß der Sättigungspunct eingetreten oder eigentlich ſchon ein wenig überſchritten ſey. Als erkältende Maſſe diente im Sommer kaltes Waſſer, im Winter eine eigene Miſchung. Während der Erkältung wurde die Temperatur des Glaſes beobachtet und diejenige beſonders bemerkt, bei welcher das Beſchlagen der Wände eintrat. Doch geſtattet dieſes Verfahren begreiflicher Weiſe keine große Genauigkeit. Noch muß hier des von Belli angegebenen Apparates zur Beſtimmung des Thaupunctes gedacht werden (ſ. deſſen Corso elementare di Fisica sperimentale. Vol. II. Milano 1831. S. 513 u. f.). Dieſer beſteht aus einem an der äußeren Fläche wohl polirten Rohre von Eiſen, deſſen Ende in Eis oder in eine erkältende Miſchung geſtellt wird, die, um lange

eine niedrige Temperatur zu behalten, ſich in einem doppelten Gehäuſe befindet. Das Rohr erhält hiedurch an verſchiedenen Stellen eine verſchiedene Temperatur; dieſe iſt am untern Ende am niedrigſten und nimmt nach oben hin allmälig zu. Der untere Theil der polirten Metallfläche bekleidet ſich in Folge deſſen mit Thau bis zu der Stelle, welche gerade die Temperatur hat, der die Spannkraft der Dünſte in der Luft als Maximum entſpricht. Um dieſe Temperatur zu erfahren, wird in das vorläufig mit Queckſilber gefüllte Rohr ein empfindliches Thermometer ſo weit eingeſenkt, daß deſſen Kugel bis zur Grenze zwiſchen dem bethauten und blanken Theile des Rohres reicht, was man durch den Stand zweier mit der Faſſung des Thermometers verbundenen, außerhalb des Rohres herabreichenden Stäbchen erkennt, deren Enden mit dem Mittelpuncte der Kugel gleiche Lage haben.

293. Ein zweites hygrometriſches Verfahren gründet ſich auf folgende Betrachtung: Die Dunſtbildung iſt, wie bekannt (276), mit einer gewiſſen Conſumtion von Wärme verbunden, welche die in den ausdehnſamen Zuſtand übergehenden Theilchen ihrer nächſten Umgebung entziehen. Befindet ſich daher eine tropfbare Flüſſigkeit in einem Raume, der mit ihrem Dunſte noch nicht geſättiget iſt und eine ſolche Größe hat, daß die Spannkraft des in ihm vorhandenen Dunſtes durch das Dunſtquantum, welches die Flüſſigkeit zu liefern vermag, nicht merklich geändert wird; ſo kommt die Verdünſtung dadurch, daß ſich bald zwiſchen dem Zufluß und dem Verbrauche der Wärme Gleichgewicht herſtellt, in einen gleichförmigen Gang, und es nimmt die Oberfläche der Flüſſigkeit eine Temperatur an, die niedriger iſt, als jene der Luft, und von dieſer, von der Dichte der Luft und von der Spannkraft des ihr beigemengten Dunſtes nach bekannten Geſetzen abhängt. Man nennt dieſe Temperatur die **Verdünſtungskälte**, auch wohl die **Naßkälte**. Kennt man alſo die Temperatur der Luft, den Barometerſtand und die ſtationäre Temperatur einer verdünſtenden Waſſerſchichte, ſo läßt ſich daraus die Expanſivkraft des in der Luft vorhandenen Dunſtes berechnen. Dieſer bereits von **Hutton** angegebene hygrometriſche Weg iſt von **Auguſt** zur Conſtruction eines Apparates benützt worden, der **Pſychrometer** (Naßkältemeſſer), häufig auch das **Thermohygrometer** genannt wird. Es beſteht dieſes Inſtrument aus einer Zuſammenſtellung zweier empfindlichen, wohl correſpondirenden Thermometer, deren eines die Temperatur der Luft, das andere die Verdünſtungstemperatur anzeigt. Zu dieſem Zwecke iſt die Kugel des letzteren mit Muſſelin bekleidet, der in einen Fortſatz ausläuft; dieſer taucht in ein Schälchen mit Waſſer und führt ſelbes durch Capillarität der Kugel zu, die ſonach fortwährend naß erhalten wird. Bedeutet t die Temperatur des befeuchteten, $t+d$ jene des trockenen Thermometers, mithin d den Temperaturunterſchied beider Thermometer, b den Barometerſtand, M das Maximum der Spannkraft des Dunſtes für die Temperatur t, und e die zu ſuchende Spannkraft des Dunſtes in der Luft; ſo iſt für die

hunderttheilige Thermometerſcale mit einer für die Praxis völlig hinreichenden Genauigkeit

$$e = M - 0.0008\ bd \ldots (1).$$

Man kann das Pſychrometer ſogar bei Temperaturen unter 0° C. in Anwendung bringen, wo die Kugel des die Verdünſtungstemperatur anzeigenden Thermometers mit einer Eisrinde überzogen iſt. In dieſem Falle hat man ſich jedoch der Formel

$$e = M - 0.0007\ bd \ldots (2)$$

zu bedienen. Es iſt bei dem Gebrauche des Pſychrometers mit Anwendung dieſer beiden Formeln nicht außer Acht zu laſſen, daß das Inſtrument einen hinreichenden Luftwechſel ausgeſetzt ſey, durch welchen die von der benetzten Kugel ausgehenden Dünſte abgeführt werden, und es hat eine weitere Verſtärkung des Luftzuges auf die Angaben des Inſtrumentes keinen merklichen Einfluß. In einem geſchloſſenen Locale fächelt man demſelben mit einem Papierblatte Luft zu.

Die vorſtehenden Formeln laſſen ſich folgendermaßen rechtfertigen: Es iſt nämlich bei dieſem Inſtrumente immer ein kleiner mit der befeuchteten Thermometerkugel concentriſcher Raum mit Waſſerdunſt geſättigt. Ein Theil dieſes Dunſtes war ſchon vorhanden, und um deſſen Spannkraft handelt es ſich eigentlich; der andere iſt erſt durch Verdünſtung des Waſſers am Kugelüberzuge entſtanden. Letzterer wurde auf Koſten der Wärme gebildet, welche die Luft und der ihr beigemengte Dunſt bei dem Uebergange von der herrſchenden Lufttemperatur zu jener, welche das ſtationär gewordene befeuchtete Thermometer anzeigt, abgegeben haben. Nennt man nun die Temperatur des trockenen Thermometers t, die des benetzten t′, das Gewicht der Luft in dem Raume, aus welchem dem verdünſtenden Waſſer Wärme zufließt, p, das Gewicht das darin urſprünglich enthaltenen Dunſtes q, und das Gewicht des neu entſtandenen Dunſtes s; ferner die Wärmecapacität der Luft c, jene des Dunſtes γ, beide auf conſtanten Druck bezogen und durch die Capacität des Waſſers gemeſſen, deſſen ſpecifiſche Wärme σ ſey; endlich die Dunſtwärme des Waſſers für 0° C. in Temperaturgraden ausgedrückt λ: ſo beſteht, da die hergegebene Wärmemenge $p(t-t')c\sigma + q(t-t')\gamma\sigma$ der conſumirten $s(\lambda - t')\sigma$ gleich ſeyn muß, die Gleichung

$$(pc + q\gamma)(t - t') = s(\lambda - t').$$

Es ſey b der herrſchende Barometerſtand, e die zu beſtimmende Spannkraft des Dunſtes in der Luft, e′ das Maximum dieſer Spannkraft für die Temperatur t′ des benetzten Thermometers, mithin b − e der Druck, unter welchem die Luft, e′ − e jener, unter welchem der neuzugewachſene Dunſt ſteht; ferner ſey $\alpha : 1$ das Verhältniß der Dichte des Dunſtes zu jener der Luft bei gleicher Spannung und gleicher Temperatur; ſo hat man

$$p : q = b - e : \alpha e,\ \text{d. h. } q = \frac{\alpha e p}{b - c'},\ \text{und eben ſo } s = \frac{\alpha (e - e) p}{b - e}.$$

Dieſe Reſultate in obige Gleichung eingeführt, geben nach Weglaſſung des allen Gliedern gemeinſchaftlichen Factors p, und nach Wegſchaffung des Nenners b − e, wenn man zur Abkürzung d ſtatt t′−t ſchreibt,

$$[c(b-e)+\alpha\gamma e]\,d \;=\; \alpha\,(e'-e)\,(\lambda-t'),$$

oder $[\alpha(\lambda-t')+(\alpha\gamma-c)\,d]\;e=\alpha\,(\lambda-t')\,e'-c\,b\,d$,

$$e=\frac{\alpha\,(\lambda-t')\,e'-c\,b\,d}{\alpha\,(\lambda-t')+(\alpha\gamma-c)\,d}\ \text{folgt.}$$

Die Erfahrung gibt $c=0.2669$, $\gamma=0.8470$, $\sigma=0.62$, $\lambda=640$, in ſofern die Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale beſtimmt werden. Hiernach kann obige Formel leicht zur nummeriſchen Rechnung vorgerichtet werden. Wegen der bedeutenden Größe von γ kann man, der in der Ausübung erreichbaren Genauigkeit unbeſchadet, den zweiten Theil des Nenners, nämlich $(\alpha\gamma-c)\,d$ weglaſſen; man erhält ſonach

$e=e'-\dfrac{c\,b\,d}{\alpha(\lambda-t')}$ und wenn man noch t' in Bezug auf λ vernachläßiget,

$e=e'-\dfrac{c}{\alpha\lambda}\,b\,d.$ Man findet näherungsweiſe $\dfrac{c}{\alpha\lambda}=0.0007$.

Iſt die Thermometerkugel mit einer Eisrinde überzogen, ſo muß man zu λ noch 75° hinzufügen, und erhält für den Werth des Coefficienten im zweiten Gliede 0.0006. Indeſſen werden dieſe Coefficienten von verſchiedenen Phyſikern etwas höher angenommen als ſie dieſe Rechnung gibt, von der ſie nur die Form des Ausdruckes entlehnen. In der That kann man, wenn man $e=e'-A\,b\,d$ annimmt, den Werth des Coefficienten A indirect durch Vergleichung der Anzeigen des Schwefelätherhygrometers mit jenen des Pſychrometers beſtimmen. August (über die Fortſchritte der Hygrometrie in der neueſten Zeit, Berlin 1830) ſetzt

$$e=e'-\frac{0.558\,b\,d}{\lambda-t'},$$

während der nummeriſche Coefficient in dieſer Formel nach Obigem $=\frac{c}{\alpha}=0.43$ ſeyn würde. Unſere Formeln halten das Mittel zwiſchen den verſchiedenen Angaben.

294. Sollen Pſychrometer-Beobachtungen nur einigermaßen brauchbare Reſultate geben, ſo müſſen die Thermometer geſtatten, unmittelbar $^1/_{10}$ Grad abzulöſen. Die Spannkraft des Waſſerdunſtes läßt ſich auch für ſolche genauere Temperaturangaben leicht aus der Tabelle (281) entnehmen, wenn man innerhalb eines Grades die Aenderungen der Spannkräfte den Aenderungen der Temperatur proportional ſetzt. Nachſtehende Tabelle, welche die am häufigſten vorkommenden Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale umfaßt und die Spannkräfte von Zehntel- zu Zehntelgraden in Wiener Linien angibt, überhebt der Mühe der Rechnung.

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
— 10°	1.20	1.21	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.26	1.27
— 9°	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36
— 8°	1.37	1.38	1.39	1.40	1.41	1.42	1.42	1.43	1.44	1.45
— 7°	1.46	1.47	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55
— 6°	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.63	1.65	1.66
— 5°	1.67	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73	1.75	1.76	1.77
— 4°	1.78	1.79	1.80	1.82	1.83	1.84	1.85	1.86	1.88	1.89
— 3°	1.90	1.91	1.92	1.94	1.95	1.96	1.98	1.99	2.00	2.01
— 2°	2.03	2.04	2.05	2.07	2.08	2.09	2.11	2.12	2.13	2.15
— 1°	2.16	2.18	2.19	2.20	2.22	2.23	2.25	2.26	2.28	2.29
0°	2.30	2.32	2 33	2.35	2.37	2.38	2.40	2.41	2.43	2.44
+ 1°	2.46	2.47	2.49	2.51	2.52	2.54	2.55	2.57	2.59	2.60
+ 2°	2.62	2.64	2.65	2.67	2.69	2.70	2.72	2.74	2.75	2.77
+ 3°	2.79	2.81	2.83	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.93	2.95
+ 4°	2.97	2.99	3.01	3.03	3.05	3.06	3.09	3.10	3.13	3.14
+ 5°	3.16	3.18	3.21	3.23	3.25	3.27	3.29	3.31	3.33	3.35
+ 6°	3.37	3.39	3.41	3.43	3.46	3.48	3.50	3.52	3.54	3.56
+ 7°	3.59	3.61	3.63	3.65	3.68	3.70	3.72	3.75	3.77	3.79
+ 8°	3.81	3.84	3.86	3.89	3.91	3.94	3.96	3.99	4.01	4.03
+ 9°	4.06	4.08	4.11	4.14	4.16	4.19	4.21	4.24	4.26	4.29
+ 10°	4.32	4.34	4.37	4.40	4.43	4.45	4.48	4.51	4.53	4.56
+ 11°	4.59	4.62	4.65	4.67	4.70	4.73	4.76	4.79	4.82	4.85
+ 12°	4.88	4.91	4.94	4.97	5.00	5.03	5.06	5.09	5.12	5.15
+ 13°	5.18	5.22	5.25	5.28	5.31	5.34	5.38	5.41	5.44	5.47
+ 14°	5.51	5.54	5.57	5.61	5.64	5.68	5.71	5.74	5.78	5.81
+ 15°	5.85	5.88	5.92	5.96	5.99	6.03	6.06	6.10	6.14	6.17
+ 16°	6.21	6.25	6.28	6.32	6.36	6.40	6.44	6.48	6.51	6.55
+ 17°	6.59	6.63	6.67	6.71	6.75	6.79	6.83	6.87	6.91	6.95
+ 18°	6.99	7.04	7.08	7.12	7.16	7.21	7.25	7.29	7.33	7.38
+ 19°	7.42	7.46	7.51	7.55	7.60	7.64	7.69	7.73	7.78	7.82
+ 20°	7.87	7.92	7.96	8.01	8.06	8.11	8.15	8.20	8.25	8.30
+ 21°	8.34	8.39	8.44	8.49	8.54	8.59	8.64	8.69	8.74	8.79
+ 22°	8.84	8.90	8.95	9.00	9.06	9.11	9.16	9.21	9.27	9.32
+ 23°	9.37	9.43	9.48	9.54	9.60	9.65	9.71	9.76	9.82	9.87
+ 24°	9.93	9.99	10.05	10.11	10.16	10.22	10.28	10.34	10.40	10.46
+ 25°	10.52	10.58	10.64	10.70	10.76	10.83	10.89	10.95	11.01	11.07
+ 26°	11.14	11.20	11.27	11.33	11.40	11.46	11.53	11.59	11.66	11.72
+ 27°	11.79	11.86	11.93	12.00	12.06	12.13	12.20	12.27	12.34	12.41
+ 28°	12.48	12.55	12.62	12.69	12.77	12.84	12.91	12.98	13.05	13.13
+ 29°	13.20	13.28	13.35	13.43	13.50	13.58	13.66	13.73	13.81	13.88

Um den Gebrauch dieſer Tabelle und die Uebereinſtimmung des Pſychrometers mit dem Thermohygrometer an einem Beiſpiele zu zeigen, mag irgend eine der zahlreichen, durch Sorgfalt ausgezeichneten Beobachtungen dienen, welche der öſterreichiſche Aſtronom Ritt. v. Bürg im Jahre 1827 angeſtellt hat (Zeitſchr. 4, 54; 5, 301). Am 24. Auguſt des genannten Jahres zeigte das trockene Thermometer nach Réaumur 12°.96, das befeuchtete 8°.87, und die Bethauung des Schwefeläther-

Hygrometers fand bei 4°.68 Statt. Der Barometerſtand war 27.873 engl. Zoll. Die Hundertel der Thermometergrade ergaben ſich dadurch, daß aus mehreren Beobachtungen das Mittel berechnet wurde. Reducirt man dieſe Daten auf die hunderttheilige Thermometerſcale und auf Wiener Maß, ſo hat man für die Temperatur des trockenen Thermometers 16°.2, des befeuchteten 11°.09, des bethauten 5°.85, endlich für den Barometerſtand 26.876 Zoll oder 322.51 Linien. Die pſychrometriſche Differenz iſt hier 5°.11, demnach gibt die Formel (1)

$$e = 4.62 - 1.32 = 3.30.$$

Dieſer Spannkraft entſpricht in der Tabelle die Temperatur 5°.75, ſo daß zwiſchen dem aus der Pſychrometer-Beobachtung abgeleiteten und dem wirklich beobachteten Thaupuncte nur eine Differenz von $\frac{1^\circ}{10}$ ſich darſtellt. Die relative Dunſtſpannung war demgemäß zur Zeit der Beobachtung $\frac{330}{628} = 0.53$. Das Gewicht des Waſſerdunſtes in einem Wiener Kub. Fuß iſt

$$= \frac{0.62 \times 3.3 \times 564}{346.2\ (1 + 0.00366 \times 16.2)} = \frac{1153.9}{366.7} = 3.67 \text{ W. Gran.}$$

Das Pſychrometer entſpricht in Hinſicht auf Bequemlichkeit des Gebrauches und Verläßlichkeit ſeiner Angaben allen Forderungen, die man an ein Hygrometer machen kann. Durch den Umſtand, daß es die zur Beurtheilung des Feuchtigkeitszuſtandes der Luft nöthigen Daten, ohne weitere Vorbereitung als die Füllung des Hilfsgefäßes mit etwas Waſſer, und wenn dieß einmal geſchehen iſt, für lange Zeit in jedem Momente auf einen Blick liefert, hat es vor dem Schwefeläther-Hygrometer einen bedeutenden Vortheil voraus; denn mit dieſem iſt ſtets ein Verſuch zu machen, mit deſſen Handgriffen man vertraut ſeyn und deſſen Ergebniß man mit Schnelligkeit aufzufaſſen wiſſen muß, wozu Uebung gehört, die nicht Jedermanns Sache iſt. Zur genauen Feuchtigkeitsbeſtimmung wird zwar nebſt der Pſychrometerangabe noch die Kenntniß des Barometerſtandes erfordert; für den gewöhnlichen Gebrauch darf man jedoch dieſe bei Seite ſetzen und ſich mit der Annahme des mittleren Barometerſtandes begnügen, und kann dem ungeachtet der Wahrheit befriedigend nahe Reſultate erwarten. Setzt man für Wien den Barometerſtand 340 Lin., ſo erhält man für das befeuchtete Thermohygrometer

$$e = M - 0.27\ d,$$

und wenn deſſen Kugel mit Eis überzogen iſt,

$$e = M - 0.22\ d.$$

295. Außer den ſo eben behandelten Hygrometern gibt es noch andere, die nicht wie jene unmittelbar zur Kenntniß der Spannkraft des Dunſtes führen, ſondern den ſogenannten **Feuchtigkeitsgrad** kennen lehren, aus dem man dann leicht die Spannkraft des Dunſtes berechnen, deſſen Kenntniß aber auch an und für ſich von Nutzen ſeyn kann. Nachſtehende Betrachtungen werden die Natur dieſer Inſtrumente klar machen: Körper, welche eine Neigung zur Aufnahme von Waſſer haben, abſorbiren den in der Luft befindlichen Waſſerdunſt, condenſiren ihn und durchziehen ſich in Folge deſſen mit tropfbarem Waſſer oder verbinden ſich damit gar chemiſch. Wir ſchreiben daher der Luft, in ſofern ſie Waſſerdunſt enthält, **Feuchtigkeit** zu, und unterſcheiden

verſchiedene Abſtufungen des Feuchtigkeitszuſtandes der Luft, nach Maßgabe der Leichtigkeit, womit Körper, die ein Beſtreben zeigen feucht zu werden, aus der Luft Waſſer aufnehmen können. Ein Körper, der das in der Luft im ausdehnſamen Zuſtande vorhandene Waſſer zur Aenderung ſeiner Aggregationsform zu nöthigen vermag, bringt offenbar durch die Kräfte, welche er auf die Dunſttheilchen ausübt, dieſe einander ſo nahe, daß ihre ausdehnſame Form nicht fortbeſtehen kann. Das dieſem Effecte entgegenſtehende Hinderniß, nämlich die zwiſchen den Dunſttheilchen waltende abſtoßende Kraft, iſt ohne Zweifel um ſo leichter zu überwinden, je näher der Dunſt in der Luft bereits jener Dichte ſteht, bei welcher er ſeine ausdehnſame Form einbüßt; denn da bedarf es nur einer geringen Kraft, um einen Theil deſſelben in den tropfbaren Zuſtand überzuführen. Bei *gleicher Temperatur* wird daher die Größe, welche man *Feuchtigkeitsgrad* der Luft nennen mag, zunehmen, wenn die Menge und mit ihr die Spannkraft des Dunſtes wächſt, und es erſcheint am natürlichſten, den Feuchtigkeitsgrad bei conſtanter Temperatur der Menge oder Spannkraft des Dunſtes proportional zu ſetzen. Bei verſchiedenen Temperaturen hingegen wird dieß nicht genügen, denn mit der Temperatur ſteigt auch das Maximum des Dunſtgehaltes der Luft, und es kann die Condenſation des Dunſtes in einem Falle ſchwieriger werden, wenn gleich in demſelben Raume mehr Dunſt vorhanden iſt, als in einem andern, wo eine niedrigere Temperatur herrſcht, und daher der Condenſationspunct minder ferne liegt. Das einfachſte Maß des Feuchtigkeitsgrades ergibt ſich unſtreitig durch die Annahme, daß derſelbe mit dem Quotienten, welcher aus der herrſchenden Spannkraft des Dunſtes, getheilt durch die größtmögliche Spannkraft, hervorgeht, in geradem Verhältniſſe ſtehe. Dieſer Quotient iſt das, was vorhin die *relative* Spannkraft genannt worden iſt. Es könnte ſogar der Feuchtigkeitsgrad der relativen Spannkraft des Dunſtes gleich geſtellt werden, wobei die größte Feuchtigkeit durch die Einheit, und jede andere durch einen echten Bruch ausgedrückt würde; da es jedoch bei dem practiſchen Gebrauche bequem iſt, bloß mit ganzen Zahlen zu thun zu haben, ſo wird das Maximum der Feuchtigkeit lieber mit 100 bezeichnet und der Feuchtigkeitsgrad der Luft dadurch angegeben, daß man anzeigt, wie viele Procente des der herrſchenden Temperatur zugehörenden Maximums der Spannkraft wirklich vorhanden ſind. Nennt man den ſo beſtimmten Feuchtigkeitsgrad F; ſo iſt alſo, wenn die obige Bezeichnung beibehalten wird, $F = 100f = \frac{100e}{E}$.

296. Zur Conſtruction von Hygrometern der eben beſagten Art bedarf man einer Subſtanz, welche durch Aufnahme von Waſſer aus der Luft eine Aenderung ihrer Dimenſionen oder ihrer Formen erleidet, und demnach aus letzterer auf die Menge des aufgenommenen Waſſers und hiedurch auf den Feuchtigkeitsgrad der Luft ſchließen läßt. Man nennt ſolche Körper *hygrometriſche Subſtanzen*. Man hat deren bis jetzt eine große Anzahl kennen gelernt; allein aller Empfeh-

lungen ungeachtet und obgleich ſich mehrere derſelben durch eine in der That merkwürdige Empfindlichkeit für ſehr geringe Aenderungen der Luftfeuchtigkeit auszeichnen, iſt es noch nicht gelungen, mit einer derſelben ein Inſtrument zu Stande zu bringen, das in Hinſicht auf Bequemlichkeit und Verläßlichkeit der Anzeigen dem Pſychrometer nur einigermaßen vergleichbar wäre. Denn nicht bloß zwei gleichartige, d. h. auf dieſelbe hygroſkopiſche Subſtanz baſirte Inſtrumente ſtimmen in ihren Angaben nicht überein, ſondern auch die Angaben eines und deſſelben Exemplars bleiben nicht conſtant, ſondern ändern ſich mit der Zeit, ſo daß es unter ganz gleichen Umſtänden einen verſchiedenen Stand ausweiſet, und daher eine einmal gemachte Wahrnehmung ſich nicht mit Sicherheit wieder erkennen läßt. Dieſe Mängel ſind erſt, ſeitdem man an dem Schwefeläther-Hygrometer und Pſychrometer verläßliche hygrometriſche Apparate beſitzt, recht in das Licht getreten, und rauben ſelbſt den am meiſten in Anſehen geweſenen früheren Hygrometern faſt allen wiſſenſchaftlichen Werth, des Umſtandes nicht zu gedenken, daß die Indicationen ſolcher Inſtrumente nicht ſo eingeleitet werden können, daß ſie als Feuchtigkeitsgrade in dem oben aufgeſtellten Sinne erſcheinen oder damit in einem erkennbaren Zuſammenhange ſtehen.

Als vorzügliche hygroſkopiſche Subſtanzen ſind zu betrachten: Haare, Fiſchbein, Knochen, Federkiele, die innere Haut des Schilfrohres; Blaſen von Ratten, Eichhörnchen, Fiſchen; Darmſaiten, Hanffäden; Grannen vom Rauhhaber, von Erodiumarten und von andern Samen; Holz, Papier u. dgl. Unter den Hygrometern dieſer Art hat das Haarhygrometer die meiſte Berühmtheit erlangt, vornehmlich wegen dem muſterhaften Fleiße, den Sauſſure auf das Studium dieſes Inſtrumentes verwendete. Es beſteht aus einem durch Kochen in ſchwacher Natrumlauge, Abwaſchen mit reinem Waſſer und Abtrocknen zubereiteten Haare vom Kopfe eines lebenden geſunden Menſchen, das an einem Ende unbeweglich in eine Zange befeſtigt, am andern Ende aber an dem Umfange einer frei um ihre Axe beweglichen Rolle herumgelegt iſt und durch ein Gewichtchen geſpannt erhalten wird, ſo daß ſich die Rolle, wenn das Haar, wie es bei Zunahme der Feuchtigkeit der Luft geſchieht, ſich verlängert, und wenn es in mehr trockener Luft ſich verkürzt, in entgegengeſetztem Sinne gedreht wird. Da die Aenderung der Länge des Haares bei verändertem Feuchtigkeitszuſtande der Luft immer nur ſehr gering iſt, ſo macht man ſie dadurch merklicher, daß man an der Rolle einen Zeiger anbringt, der über einem Kreisbogen ſpielt und auf demſelben bei der kleinſten Längenänderung des Haares um ein Merkliches weiter rückt (Fig. 99). Dieſer Bogen enthält die Hygrometerſcale, deren äußerſte Puncte dem Stande des Zeigers bei der größten Trockenheit und Feuchtigkeit entſprechen. Um den Punct der größten Feuchtigkeit zu beſtimmen, wird der Apparat in einen, inwendig mit Waſſer befeuchteten und auch mit Waſſer geſperrten Glasrecipienten gebracht und ſo lange darin gelaſſen, bis ſich das Haar nicht mehr verlängert. Zur Beſtimmung des Punctes der größten Trockenheit wird er in eine gut abgetrocknete Glasglocke gebracht, nahe an ihm ein heißes, cylindriſch gebogenes, mit geglühter Pottaſche überzogenes Eiſenblech geſtellt, alles luftdicht geſperrt und in dieſem Raume ſo lange gelaſſen, bis ſich das Haar ſelbſt dann nicht mehr verkürzt, wenn man die Temperatur erhöht.

Der Punct der größten Trockenheit wird mit 0, jener der größten Feuchtigkeit mit 100 bezeichnet, und der Zwiſchenraum in 100 gleiche Theile getheilt. Allein die ſo erhaltenen Grade ſind, wie Vergleichungen mit beiden im Vorhergehenden angegebenen guten Hygrometern gelehrt haben, keine Feuchtigkeitsgrade, ſtehen auch zu dieſen, weil jedes Haar ſich anders gegen Feuchtigkeit verhält, in keiner für alle Inſtrumente gleichen Beziehung, ja nicht einmal die Vorausſetzung, daß dasſelbe Inſtrument unter gleichen Umſtänden eine gleiche Haarlänge, folglich denſelben Grad darbiete, iſt für einen längeren Zeitraum richtig. Es ſtirbt nämlich ein Haar wie jede andere organiſche Subſtanz mit der Zeit ab, wird für den Waſſerdunſt immer unempfindlicher, die beiden Fundamentalpuncte rücken einander fortwährend näher, und fallen zuletzt zuſammen. Daß man die Haare einer tauſendjährigen Mumie noch empfindlich und zum hygrometriſchen Gebrauche geeignet gefunden hat, beweiſet nicht, daß ausgelaugte und im hygrometriſchen Gebrauche befindliche Haare unverändert ausdauern, worauf es doch allein ankommt; nicht ausgelaugte, d. h. mit Fett noch verſehene Haare ſind aber, wie von ſelbſt erhellet, zu Hygrometern durchaus nicht verwendbar.

Nebſt dem ſo eben beſchriebenen Hygrometer hat auch noch das Deluc'ſche wenigſtens einen hiſtoriſchen Werth. Es iſt dem Sauſſure'ſchen im Baue ähnlich, nur iſt es kleiner und hat ſtatt des Haares einen dünnen Streifen quer über die Faſern geſchnittenen Fiſchbeines. Der Punct der größten Trockenheit wird wie beim Haarhygrometer beſtimmt, der Punct der größten Feuchtigkeit hingegen durch Einſenken des ganzen Fiſchbeines in Waſſer. Die Scale wird wie in Sauſſure's Hygrometer eingetheilt und bezeichnet. Sehr wenig Empfehlendes läßt ſich von dem ſchon im ſiebzehnten Jahrhunderte von Molineux beſchriebenen Darmſaitenhygrometer ſagen, womit ſich ſpäter Sturm und Lambert beſchäftigt haben; ein Gleiches gilt von den thermometerähnlichen Vorrichtungen, in welchen der Behälter für das Queckſilber durch einen Federkiel (Chiminello's Hygrometer) oder durch eine Rattenblaſe (Wilſon's Hygrometer) gebildet wird. Sehr artige hygroſkopiſche Erſcheinungen gewährt, ihrer Empfindlichkeit wegen, die Granne der Samenhülle des gemeinen wildwachſenden Erodium cicutarium (Reiherſchnabel).

297. Es iſt einleuchtend, daß ſich die in einem Raume enthaltene Dunſtmenge unmittelbar dadurch beſtimmen laſſe, daß man durch einen hygroſcopiſchen Körper das Waſſer auffaugen läßt und dann deſſen Gewichtszunahme beſtimmt. Dieſes Verfahren iſt aber zu umſtändlich, als daß man es für gewöhnlich anwenden könnte.

Die geeignetſte Subſtanz zu dieſer Beſtimmung ſcheint Schwefelſäure zu ſeyn, auch Chlorcalcium taugt dazu. Man wendet ſie auf ähnliche Weiſe wie den Phosphor im Brunner'ſchen Eudiometer, an (80). Siehe Brunner in Pogg. Ann. 20, 274. Ueber Hygrometer ſiehe: Lambert's Hygrometrie. Augsb. 1774. Sauſſure's Hygrometrie; aus dem Franzöſiſchen. Leipzig, 1784. *Enumeratio atque descriptio hygrometrorum etc. auctore G. Hopf. Gottingae* 1830. Gehler's Wörterbuch, neue Aufl. 5. Bd. 1. Abth. Artikel Hygrometer.

G. Anwendungen des Dampfes.

298. Der bei der Siedhitze gebildete Dunſt findet theils vermöge ſeines großen Gehaltes an latenter Wärme, theils wegen ſei-

ner Spannkraft vielſeitige Anwendungen. Es beruhen darauf der Deſtillationsproceß, die Dampfheizung und die Dampfmaſchinen.

Den Deſtillationsproceß leitet man ein, um aus einem Gemenge flüchtiger und nicht flüchtiger Subſtanzen erſtere von letzteren zu trennen. Er beſteht im Weſentlichen darin, daß man das Gemenge einer Temperatur ausſetzt, bei welcher ſich die flüchtige Subſtanz in Dampf verwandelt, und dann dieſe Dämpfe durch Abkühlen tropfbar macht. Im Kleinen deſtillirt man aus Retorten, im Großen aus eigenen Keſſeln oder Blaſen, und die Zerſetzung des Dampfes bewirkt man im erſten Falle in einer kleinen Vorlage, die durch Zutröpfeln von Waſſer ſtets kalt erhalten wird, im letzteren in einem meiſtens ſchlangenförmigen, durch kaltes Waſſer geführten Rohr. Die ganze Zerſetzungs-Vorrichtung heißt Kühlapparat. Man geht ſtets darauf aus, die größtmögliche Fläche der Blaſe dem Feuer und die größtmögliche Fläche des Kühlers dem Waſſer auszuſetzen. Zwiſchen beiden Flächen muß das gehörige Verhältniß herrſchen. Nicht immer braucht man zum Behufe der Deſtillation die Flüſſigkeit zu der gewöhnlichen Siedhitze zu bringen, man kann die Deſtillation auch durch Verdünnen der Luft über der Flüſſigkeit oder wie man zu ſagen pflegt, im leeren Raume bewerkſtelligen. Dabei erzielt man aber keine Erſparung an Brennſtoff, weil dieſelbe Dunſtmenge ſtets zum Entſtehen dieſelbe Wärmemenge braucht; allein oft iſt es wichtig, eine ſtarke Erhitzung des zu deſtillirenden Körpers zu vermeiden, wie z. B. bei der Fabrikation des Zuckers aus Runkelrüben, und in einem ſolchen Falle iſt die Deſtillation im leeren Raume vom Nutzen. Wenn ein Gemenge Flüſſigkeiten von verſchiedenem Grade der Flüchtigkeit enthält, ſo bilden ſich in der Regel von allen dieſen gleichzeitig Dämpfe, jedoch von der flüchtigeren mehr als von den anderen, und man erhält demnach auch ein aus allen dieſen Flüſſigkeiten beſtehendes Deſtillat, worin aber der flüchtigere Beſtandtheil das Uebergewicht hat. Da muß man nun durch mehrere auf einander folgende Deſtillationen eine weitere Concentration bewirken.

Ein ſehr zweckmäßiger Kühlapparat für Deſtillationen iſt der in Fig. 100 abgebildete. Er wird in der Regel zwar nur im Kleinen in chemiſchen Laboratorien angewendet, iſt aber ohne Zweifel auch einer ſehr vortheilhaften Anwendung im Großen fähig. Das Rohr a b, durch welches die Dämpfe aus der zu deſtillirenden Flüſſigkeit abziehen, geht durch ein zweites weiteres c d und iſt in dieſem durch zwei an den Enden deſſelben angebrachte, durchbohrte Korkſtoppeln befeſtiget. Beide Röhren ſind in eine ſchiefe Lage gebracht, ſo daß die Seite a wo die Dämpfe eintreten, etwas höher ſteht, als die entgegengeſetzte. Am niederern Ende iſt ein ſenkrecht aufſteigendes, oben in einen Trichter endigendes Rohr e aufgeſetzt und am höheren ein anderes Rohr f nach abwärts gebogen. Beim Gebrauche läßt man durch den Trichter des Rohres e kaltes Waſſer einfließen. Dieſes füllt den Zwiſchenraum der Röhren a b und c d, ſteigt langſam gegen den Zug der Dämpfe aufwärts und fließt durch das Rohr f ab. Daß bei einer etwaigen Ausführung dieſes Apparates im Großen die Röhren aus Metall oder einem andern feſten Stoffe anzufertigen wären, iſt für ſich klar.

Unter allen Deſtillationen iſt jene des Weingeiſtes aus der ſogenannten Maiſche am meiſten raffinirt. Man hat dazu eigene, zum Theile ſehr zuſammengeſetzte Apparate, durch welche man ſchon bei der erſten Deſtillation ſehr ſtarken Weingeiſt gewinnt und das Anfangs erhaltene Deſtillat nicht noch ferner zu concentriren braucht. Die Dämpfe kommen in der Regel mit einer Temperatur von 80° C. in den Kühlapparat, und die mittlere Wärme des Kühlwaſſers kann da, wo es mit den Kühlröhren in Berührung ſteht, auf 51° C. geſetzt werden. Da condenſiren 10 Quadratfuß Fläche der Kühlröhren in 1 Minute 1½ Pfd Flüſſigkeit. Für 1 Q. Fuß der Kühlröhren rechnet man bei gewöhnlichen Apparaten ohne Vorwärmer ½ Q. Fuß Feuerfläche der Blaſe, bei Apparaten mit Vorwärmer aber 2—3 Q. Fuß. (Otto's Lehrbuch der rationellen Praxis der landwirthſchaftlichen Gewerbe. Braunſchweig 1840.)

299. Die große Menge der vom Waſſerdampf gebundenen Wärme macht denſelben vorzüglich geeignet, Wärme von einem Orte zum anderen ohne merklichen Verluſt zu übertragen, und daher kommt es, daß man ihn dazu verwendet, Flüſſigkeiten zu **erhitzen** und Gemächer zu **erwärmen**. Man erzeugt den Dampf in einem eigenen Keſſel und leitet ihn in metallenen Röhren in die zu erhitzende Flüſſigkeit oder durch den zu beheizenden Raum. In dem Maße, als der Dampf Wärme an die die Röhren umgebende Maſſe abtritt, wird er ſelbſt zerſetzt und das aus dem Dampfe erzeugte Waſſer wird entweder wieder in den Keſſel zurück geleitet, um neuerdings zu verdampfen, oder es gelangt ins Freie und fließt daſelbſt ab. Wenn man durch Waſſerdampf Waſſer erhitzen will, kann man ihn gleich in letzteres unmittelbar leiten. Soll durch Dampf ein Locale beheizt und bei einer beſtimmten Temperatur erhalten werden, ſo muß ſo viel Dampf zugeleitet werden, daß der Luft die nach außen abgegebene Wärme wieder von den Dampfröhren zurück erſtattet wird; dazu gehört eine angemeſſene Größe des Dampfkeſſels und eine entſprechende Oberfläche der Dampfröhren.

Aus dem Vorhergehenden iſt bekannt, daß 1 Pfd. Waſſerdampf von 100° C, an die Umgebung 540 Wärme abgibt, wenn er in Waſſer von 100° verwandelt wird. Man kann alſo durch eine beſtimmte Dampfmenge von 100° C. eine 5½mal größere Waſſermaſſe von 0° C. zum Sieden bringen. 1 Pfd. Dampf kann 1 Pfd. Waſſer von 0 auf 540°, oder da die Capacität der Luft 0.2669 von jener des Waſſers iſt, 1 Pfd. Luft auf $\frac{540}{0.2669} = 2023°$ erhitzen. Da 1 Pfd. Luft von 0° C. einem Luftvolum von 13.6 K. Fuß entſpricht, ſo kann man ſagen, 1 Pfd. Waſſerdampf von 100° C. erhitzt beim Uebergange in Waſſer von 100° C. 13.6 K. Fuß Luft von 0° auf 2023°. Daraus geht hervor, daß man zur Erwärmung von K Kubikfuß Luft um t — t′ Grade ein Waſſerdampfquantum q braucht, welches durch

$$q = \frac{K(t - t')}{13{\cdot}6 \times 2023} = \frac{K(t - t)}{27513}$$

ausgedrückt wird. Ein Locale, in welchem in 1 Minute K Kubikfuß Luft durch äußere Einflüſſe um t — t′ abgekühlt werden, kann demnach nur durch einen Zufluß von q Pfd. Dampf von 100° in 1 Minute bei conſtanter Temperatur erhalten werden. Da, wie die Er-

fahrung lehrt, ein Keſſel, der in 1 Min. 1 Pfd. Dampf liefern ſoll, 10 Q. Fuß Heizfläche haben muß, ſo wäre im vorerwähnten Falle eine Heizfläche von 10 q nöthig. Clement hat durch Erfahrung die für verſchiedene Gegenden nöthigen Röhrenoberflächen angegeben wie folgt: Für England, wo das Klima ſehr mild iſt, für 100 K Fuß Zimmerraum, 1½ Q. Fuß gußeiſerne Röhrenfläche, für das kältere nördliche Frankreich (das mit unſeren Gegenden harmoniren dürfte) für 60 K. F. Zimmeraum 1 Q. Fuß Röhrenfläche. Bayley gibt den Heizraum, der durch 1 Q Fuß Röhrenfläche geheizt wird (für England) folgendermaßen an: Für ein Ananashaus 20 K. Fuß, für Trauben und Pfirſiche 40 K. Fuß, für Orangen 80 — 100 K. Fuß, für Speiſezimmer 150 K. Fuß, für Theater, Ateliers, Kirchen 200 Kubik-Fuß. Es iſt klar, daß dieſes nur Durchſchnittswerthe ſind, die unter beſonderen Umſtänden ſtarke Modificationen erleiden müſſen.

300. Die wichtigſten Dienſte leiſtet der Waſſerdampf durch ſeine Expanſivkraft, indem er dadurch geeignet wird, die bewegende Kraft der Dampfmaſchinen abzugeben. Er wird zu dieſem Ende in einem eigenen Keſſel, dem Dampfkeſſel, mittelſt Hitze erzeugt, gelangt von da in den ſogenannten Damfcylinder, drückt auf den in dieſem befindlichen, luftdicht ſchließenden aber beweglichen Kolben und treibt ihn vor ſich hin bis zu einer beſtimmten Grenze. Iſt dieſe erreicht, ſo wird der bisher wirkſam geweſene Dampf ins Freie gelaſſen, und ein anderer tritt aus dem Keſſel an der entgegengeſetzten Seite des Kolbens ein und bewegt dieſen wieder zurück, wird aber, nachdem er dieſes bewirkt hat, ſelbſt wieder ins Freie gelaſſen und dadurch unwirkſam gemacht, wornach das Spiel des Kolbens von Neuem beginnt, ſo daß letzterer durch den Dampf abwechſelnd hin und her bewegt wird. Mit dem Kolben ſteht eine durch eine Stopfbüchſe luftdicht gehende Stange, Kolbenſtange genannt, in Verbindung, nimmt an der Bewegung desſelben Theil und pflanzt ſie zum Balancier, einem zweiarmigen gleicharmigen ſtarken Hebel fort. Dieſer überträgt ſie mittelſt einer beweglichen Stange an eine Kurbel, die ſich mit einem Schwungrade an derſelben Axe befindet, und ſo wird die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens und Balanciers in eine drehende des Schwungrades, und wenn es erforderlich iſt, anderer damit verbundener Räder verwandelt. Oft wird die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens auch ohne Balancier in eine drehende verwandelt. Aus dieſem geht hervor, daß die weſentlichen Beſtandtheile einer Dampfmaſchine Keſſel, Cylinder und Kolben ſeyen. Doch gilt dieſes nur von einer beſtimmten und zwar der einfachſten Art der Dampfmaſchinen. Da in einer ſolchen der ausgediente Dampf ins Freie geht, ſo muß der arbeitende Dampf eine große Spannung, wenigſtens von 2—3 Atmoſphären haben. Man nennt ſolche Maſchinen darum auch Hochdruckmaſchinen. Um mit Dampf von geringerem Drucke arbeiten zu können, muß der ausgediente Theil deſſelben nicht ins Freie gelaſſen, ſondern zu Waſſer condenſirt und gleichſam auf einer Seite des Kolbens ein Vacuum erzeugt werden. Dieſes geſchieht in einem beſonderen Behälter, Condenſator genannt, durch eingeſpritztes kaltes Waſſer. Maſchinen der Art

heißen darum auch Condenſationsmaſchinen. Eine ſolche kann wohl auch mit hoch geſpanntem Dampf arbeiten, in der Regel geſchieht dieſes aber nicht, und der arbeitende Dampf hat ſelten eine Kraft über $1^1/_2$ Atmoſphäre. Meiſtens treibt der Dampf den Kolben abwechſelnd nach beiden entgegengeſetzten Richtungen, und die Maſchine heißt darum doppelt wirkend, doch gibt es auch ſolche, wo der Kolben nur nach einer Richtung durch den Dampf getrieben, nach der anderen aber durch den Druck der Atmoſphäre und ein Gegengewicht bewegt wird; ſie heißen einfach wirkende. Man pflegt heut zu Tage den Dampf nicht fortwährend in den Dampfcylinder ſtrömen zu laſſen, bis der Kolben das Ende ſeiner Bahn erreicht hat, ſondern ſperrt ihn früher ab und läßt ihn die fernere Kolbenbewegung durch ſeine Expanſion bewirken. Man ſagt dann, die Maſchine arbeite mit Expanſion. Früher hat man den Mechanismus zum Abſperren des Dampfes (die Expanſionsvorrichtung) ein für allemal feſtgeſtellt oder es mußte ſie der Wärter dem jedesmaligen Bedürfniſſe gemäß ſtellen, heut zu Tage baut man aber auch Maſchinen mit ſolchen Expanſionsvorrichtungen, die ſich ſelbſt nach Maßgabe des jedesmaligen Dampfbedarfes reguliren. In der Regel hat der Kolben eine hin- und hergehende Bewegung und zwar muß man die Stange deſſelben, wenn der Dampfcylinder eine unveränderliche Stellung hat, in ſtets paralleler Richtung erhalten, welches bei Maſchinen, wo die Kolbenſtange auf einen Balancier wirkt, durch eine eigene Vorrichtung, das ſogenannte Watt'ſche Parallelogramm geſchieht, oder bei denen, wo der Balancier fehlt und die Kolbenſtange unmittelbar auf die Kurbel des Schwungrades wirkt, durch einen Rahmen, in welchem die Stange geführt wird. Wo dieſes nicht der Fall iſt, muß der Cylinder den Schwankungen der Kolbenſtange folgen (oscilliren). Man hat zwar auch Maſchinen mit rotirenden Kolben, aber man konnte ſie bis jetzt nicht in der erwünſchten Vollkommenheit erhalten. Jede Dampfmaſchine hat außer der eigentlichen Nutzlaſt noch mehrere Nebenlaſten zu bewegen, die ihr angehängt werden, um ihren eigenen Gang zu unterhalten. Sie muß ſich das Waſſer für den Keſſel und für den Condenſator pumpen, die Steuerung bewegen, welche den Dampf bald unter bald über den Cylinder gelangen läßt, den Regulator handhaben, der einem zu ſchnellen oder ungleichen Gange vorbeugt, wenn ſie einen Condenſator hat, den Einſpritzhahn dirigiren, Luft und Waſſer aus dem Condenſator pumpen, die Expanſionsvorrichtung bewegen; man hat ſogar Dampfmaſchinen, die ſich ſelbſt Brennſtoff zulegen und den Luftzug reguliren ꝛc.

Man kann ſich wohl denken, daß ein ſo complicirtes Werk, wie eine Dampfmaſchine iſt, nicht gleich in ſeiner gegenwärtigen Vollkommenheit aus den Händen dieſes Erfinders gekommen ſey; doch iſt es merkwürdig, daß alle wahrhaft großen und nützlichen Verbeſſerungen dieſes mächtigen Triebwerks von einem einzigen Menſchen, J. Watt, erfunden worden ſind. Wenn man ſchon eine Vorrichtung, bei welcher Waſſerdampf eine Bewegung hervorbringt, eine Dampfmaſchine

nennen will, ſo iſt Hero von Alexandrien, der 120 Jahre v. Chr. lebte, der Erfinder derſelben; denn in der von ihm angegebenen Maſchine wird eine hohle, mit Waſſerdampf gefüllte metallene Kugel durch Rückwirkung des herausſtrömenden Dampfes in drehende Bewegung geſetzt. Schließt man aber derlei Apparate als nicht hieher gehörig aus, ſo beginnt die Geſchichte der Dampfmaſchinen mit einem Patente, welches Savery, ein engliſcher Capitän, i. J. 1698 auf eine Maſchine erhielt, in welcher mittelſt Waſſerdampf die Luft aus einem Pumpenſtiefel vertrieben, und hierauf durch Abkühlen ein leerer Raum darin erzeugt wurde, in welchen nun das Waſſer aus einem Brunnen durch den Luftdruck emporſtieg. Arago hält Caus für den Erfinder der Dampfmaſchine. Dieſe in jeder Hinſicht ſehr unvollkommene Vorrichtung wurde durch Newcomen i. J. 1705 dadurch weſentlich verbeſſert, daß er über dem Dampfkeſſel einen hohlen Cylinder mit einem beweglichen Kolben anbrachte, welcher durch den Dampf gehoben wurde, und wenn er den höchſten Punct erreicht hatte und durch eingeſpritztes Waſſer die Dämpfe verdichtet waren, durch den Druck der Atmoſphäre wieder hinabſank. Durch abermaliges Zulaſſen des Dampfes konnte der Kolben neuerdings zum Steigen und durch Verdichten desſelben wieder zum Sinken gebracht, und ſo eine anhaltende Bewegung unterhalten werden. Die erſten Maſchinen hatten eine Hahnſteuerung, man mußte jedoch den Hahn mit freier Hand bewegen; aber ein Knabe, Humphry Potter, der dieſem Geſchäfte keinen Geſchmack abgewinnen konnte, verfiel auf den Gedanken, es der Maſchine ſelbſt zu übertragen und führte ihn alſogleich aus, indem er den Kopf des Hahnes mittelſt Schnüren mit dem bewegten Mechanismus verband. Ungeachtet dieſer Verbeſſerung war die genannte Maſchine noch immer mangelhaft; insbeſondere verurſachte das Einſpritzen des Waſſers in den Cylinder und die den oberen Theil des Kolbens frei berührende Luft eine ſehr große Abkühlung. Dieſe vermied J. Watt dadurch, daß er den Cylinder luftdicht ſchloß, die Kolbenſtange durch eine Stopfbüchſe gehen ließ, und ſo der Luft den Zutritt zum Kolben verwehrte, noch mehr aber durch Erfindung des Condenſators, der neben dem Cylinder befindlich, den Dampf von ihm aufnahm, und ihn durch eigens eingeſpritztes Waſſer verdichtete, ohne den Cylinder mit dem kalten Waſſer in Berührung zu bringen. Nun war zwar die Maſchine zu Arbeiten geeignet, bei denen ein Zug nach einer Richtung hinlänglich iſt, wie z. B. zum Waſſerheben, man konnte ſie aber nicht zum Betriebe von Maſchinen brauchen, die eine ununterbrochene Kraft fordern, weil die Wirkung des Dampfes nur einſeitig war. Watt ſetzte ſeinen Verbeſſerungen die Krone auf, indem er doppelt wirkende Maſchinen baute, welche demnach zur Erzeugung jeder Bewegung qualificirt waren. Später hat er auch das Princip der Expanſion bei ſeinen Maſchinen angewendet. Woolf hat der Expanſionsvorrichtung eine ganz andere Einrichtung gegeben. Die variable Expanſion kennt man erſt ſeit einigen Jahren. Alle Condenſationsmaſchinen ſind voluminös und ſchwer, viel weniger iſt dieſes bei den Hochdruckmaſchinen der Fall, wie ſie Trevithick in England und Evans in Amerika zuerſt gebaut haben.

301. Eine Dampfmaſchine iſt entweder eine feſt ſtehende Landdampfmaſchine oder eine ſolche, die ſich ſelbſt mit fortbewegen muß und dieſe iſt entweder eine Schiffs- oder eine Wagendampfmaſchine; letztere führt ausſchließend den Namen Locomotiv. Landdampfmaſchinen können Condenſations- oder Hochdruckmaſchinen ſeyn; die letztere Conſtruction muß man überall wählen, wo es für

eine andere an hinreichendem Condenſationswaſſer fehlt oder wo man den abgehenden Dampf nutzbringend verwenden kann; bei Condenſationsmaſchinen kann das abfließende warme Condenſationswaſſer gute Verwendung finden. Doppelt wirkende Condenſationsmaſchinen mit niederem Druck und doppelt wirkende Hochdruckmaſchinen, beide mit feſt ſtehendem Cylinder und mit Balancier, nach dem Expanſionsprincip eingerichtet, können für die verbreitetſten Landmaſchinen angeſehen werden.

Eine Landdampfmaſchine und zwar eine ſolche mit Condenſation und doppelter Wirkung ſtellt Fig. 101 dar: Durch die Röhre A kommt der Dampf aus dem Dampfkeſſel und wird durch die ſogenannte Steuerung in den Dampfcylinder B geleitet und zwar entweder unter den Kolben C oder über denſelben. Mit dem Kolben ſteht die Kolbenſtange E in Verbindung, die durch eine Stopfbüchſe luftdicht geht und ihre Bewegung dem Balancier F mittheilt, durch welchen ſie dann mittelſt der Kurbelſtange D auf die Hauptkurbel G und das damit verbundene Schwungrad H übertragen wird. Wenn der Dampf ſeinen Dienſt gethan hat, gelangt er durch die Röhre a in den Condenſator K, welcher in einer Ciſterne L mit kaltem Waſſer ſteht und dieſes durch den ſogenannten Injectionshahn b eingeſpritzt erhält. Dadurch wird eine Condenſation des Dampfes bewirkt und im Condenſator, ſo zu ſagen, ein leerer Raum erzeugt. Das im Condenſator befindliche warme Waſſer wird ſammt der aus dem Dampfe entwickelten Luft durch die ſogenannte Luftpumpe M, deren Kolbenſtange am Balancier befeſtiget iſt und durch denſelben bewegt wird, in einen eigenen Behälter N gepumpt, von dem erſteres mittelſt der Warmwaſſerpumpe O zum Theile in den Keſſel zur Speiſung deſſelben zurückgeführt wird. Eine andere Pumpe P ſchöpft kaltes Waſſer aus einem nahen Brunnen in die Ciſterne L. Die in der Figur dargeſtellte Steuerung iſt der ſogenannte Vierweghahn, nämlich ein Hahn mit doppelter Bohrung, der bei der Stellung, wie er abgebildet iſt, den Dampf aus dem Keſſel unter den Kolben gelangen läßt, während der über dem Kolben befindliche in den Condenſator treten kann. Dieſe Art Steuerung wird wenig mehr gebraucht und iſt faſt allgemein durch die ſogenannte Schlittenſteuerung verdrängt worden. Dieſe iſt ſeitwärts der Figur 101 in den zwei Hauptſtellungen beſonders abgebildet. In a tritt der Dampf aus dem Keſſel ein, durch b kommt er über den Kolben, durch d kann er unter den Kolben gelangen und durch c wird er in den Condenſator geführt. In der Stellung I kommt er aus dem Keſſel über den Kolben und der unter dem Kolben in den Condenſator, in II hingegen aus dem Keſſel unter den Kolben und der über dem Kolben in den Condenſator.

302. **Schiffsmaſchinen** ſind in der Regel Niederdruckmaſchinen mit doppelter Wirkung, und nur wenn ein ſehr ſeichter Gang des Schiffes nothwendig iſt, nimmt man zu hohem Druck die Zuflucht. Der Keſſel einer ſolchen Maſchine muß ſo conſtruirt ſeyn, daß er keiner Einmauerung bedarf. Meiſtens haben Schiffsmaſchinen auch einen Balancier, wiewohl es auch ſolche gibt, bei denen die Kolbenſtange unmittelbar auf die Welle wirkt, woran ſich die Schiffsräder befinden, doch kann der Balancier nicht über dem Cylinder ſtehen, wie bei einer Landdampfmaſchine. Man braucht da meiſtens zwei Maſchinen, die ihren Dampf aus demſelben Keſſel erhalten und einen ganz gleich-

mäßigen Gang haben; beide Kolben wirken mittelſt Krummzapfen auf den Hauptgrindel, doch müſſen die beiden Krummzapfen in auf einander ſenkrechten Ebenen liegen, damit einer in vortheilhafteſter Stellung ſey, wenn ſich der andere in der nachtheiligſten befindet.

Fig. 102 ſtellt eine Schiffsmaſchine von der Seite geſehen vor. A iſt der Dampfcylinder, in welchem ſich der (in der Zeichnung unſichtbare) Kolben befindet, deſſen Stange B mittelſt eines horizontalen (auf der Ebene des Papiers ſenkrechten und darum nicht erſichtlichen) Querſtückes C und einer beweglichen verticalen Stange D mit dem Balancier E verbunden iſt. Letzterer wirkt am andern Ende mittelſt der Triebſtange F auf die Kurbel des Hauptgrindels und mittelſt dieſen auf die Waſſerräder, welche das Schiff bewegen Die Stangen G, H, K ſichern die parallele Bewegung der Kurbelſtange und L bewegt die Luft- oder Warmwaſſerpumpe M. Die am Hauptgrindel angebrachte excentriſche Scheibe N vermittelt mittelſt der Gabelſtange O die Bewegung der Steuerung. Die ganze Maſchine ruht auf dem Schiffsboden und eine durch denſelben gehende Pumpe liefert das Waſſer für den Condenſator; eine andere Pumpe führt einen Theil des Condenſationswaſſers in den Keſſel zur Speiſung deſſelben.

303. Locomotive ſind immer Hochdruckmaſchinen mit doppelter Wirkung. Es ſind immer zwei Maſchinen nöthig, die von demſelben Keſſel geſpeiſet werden, ihre Cylinder liegen horizontal, jeder nach der Länge des Wagens, und jeder Kolben wirkt mittelſt einer Kurbel auf die Axe der Triebräder. Der abgehende Dampf wird von beiden Cylindern in ein gemeinſchaftliches, im Schornſtein ausmündendes Rohr getrieben, damit er daſelbſt die Luft verdünne ein Nachſaugen friſcher Luft durch den Roſt bewirke und ſomit die Dienſte eines Gebläſes verrichte. Die beiden Kolben ſuchen die Triebräder um ihre gemeinſchaftliche Axe zu drehen; reiben dieſe ſich aber mehr auf den Schienen, als die daran gehängte Laſt widerſteht, ſo rollen ſie auf den Schienen fort und nehmen die Laſt mit ſich. Bei jeder Umdrehung eines Triebrades, d. h. bei einem Hin- und Hergange eines Kolbens geht der Zug um ein Stück Weges fort, welches dem Umfange des Triebrades gleich iſt. Weſentlich iſt für Locomotive eine ausreichend große Feuerfläche des Keſſels, weil man ſonſt nicht ſo raſch Dampf erzeugen kann, als man ihn braucht.

Ein Locomotiv iſt in Fig. 103 verſinnlicht. Es ruht auf ſechs Rädern, man hat aber auch deren mit vier, ja gegenwärtig ſogar mit acht Rädern. Die größeren Räder ſind die Triebräder, welche durch Dampf bewegt werden und die übrigen mit ſich fortführen. Den ganzen oberen Theil nach der ganzen Länge nimmt der Keſſel ein, die eigentliche Dampfmaſchine befindet ſich unten nach vorne. A iſt der Feuerkaſten mit dem unten angebrachten Roſte, B der eigentliche Waſſerbehälter, C die dieſen Behälter der Länge nach in großer Anzahl (bis zu 120) durchziehenden Feuerröhren, die von außen von Waſſer umgeben ſind, und durch welche die Flamme ſtreichen muß, um aus dem Feuerraume A in den Rauchkaſten C zu kommen. Zur Sicherheit ſind am Keſſel zwei Ventile D vorhanden, und um den Dampf von dem ſtets im ſtarken Aufwallen begriffenen Waſſer zu ſondern, iſt da, wo er in den Dampfcylinder abgeleitet wird, eine Erhöhung E (Dom) angebracht, in welche das Dampfrohr F hineinragt und nach

Maßgabe der durch eine beſondere Vorrichtung zu regulirenden Oeffnung Dampf aufnehmen kann. Durch F und G gelangt der Dampf mittelſt einer Schlittenſteuerung in den Cylinder H (deren nur einer in der Zeichnung ſichtbar iſt), bewegt daſelbſt den Kolben und dadurch die Kolbenſtange J, die ſelbſt wieder mittelſt der Kurbelſtange K auf die Axe der Triebräder wirkt und ſelbe bewegt. Die gabelartige Vorrichtung L dient dazu, die Bewegung vorwärts oder rückwärts gehen zu laſſen. Der Dampf, welcher ausgedient hat, kommt durch das Blaſerohr M in den Schornſtein N. Der Locomotivführer ſteht hinter dem Feuerkaſten und hat hinter ſich den mit Waſſer und Brennſtoff verſehenen Wagen (Tender). Wenn das Feuer ſehr lebhaft iſt und der Waſſerſtand im Keſſel es fordert, wird Waſſer in den Keſſel gepumpt; hat das Feuer ſeine Lebhaftigkeit verloren, wird Brennſtoff nachgelegt. Es iſt Sache des Führers, alles dieſes zu rechter Zeit zu thun. Man nimmt an, daß für jeden Quadratfuß Heizfläche des Keſſels bei einer Geſchwindigkeit von 4 Meilen in der Stunde $^1/_5$ K. Fuß Waſſer aus dem Keſſel verſchwindet, wovon wieder $^1/_5$ mechaniſch als tropfbare Flüſſigkeit fortgeriſſen worden. Bei anderen Geſchwindigkeiten ſoll ſich der Verbrauch des Waſſers wie die vierte Wurzel der Geſchwindigkeiten verhalten. (Guide du mécanicien conducteur de machines locomotives. Paris 1840. Theoretiſch-praktiſches Handbuch über Dampfwagen von Pambour, Braunſchweig 1841).

304. Um den Effect einer Dampfmaſchine auszumitteln, muß man bedenken, daß es ſich immer, zu welcher Verrichtung eine ſolche Maſchine auch immer gebraucht werden mag, darum handelt, ein gewiſſes Gewicht in einer beſtimmten Zeit auf eine beſtimmte Höhe zu heben; denn alle mechaniſchen Leiſtungen laſſen ſich auf dieſe zurückführen. Sieht man von allen Bewegungshinderniſſen ab und denkt ſich die eigentliche Nutzlaſt der Maſchine (das Gewicht, welches ſie heben ſoll) als den einzigen zu überwältigenden Widerſtand; ſo beſtimmt der Druck des Dampfes auf den Cylinder die Größe jenes Gewichtes und der Weg, den er im Kolben zurücklegt (der Kolbenhub) die Größe des Weges, um welchen die Laſt in der Zeit eines Kolbenhubes gehoben wird. Der Druck des Dampfes auf den Kolben iſt gleich jenem einer Queckſilberſäule, deren Baſis die gedrückte Kolbenfläche, deren Höhe der Expanſivkraft des Dampfes gleich iſt. Dieſem Druck wirkt aber auf der entgegengeſetzten Kolbenfläche der Druck des nicht condenſirten Dampfes bei Condenſationsmaſchinen oder der der Atmoſphäre bei Hochdruckmaſchinen entgegen; die Differenz beider gibt endlich den Druck, welcher den Kolben zu bewegen ſucht. Die Höhe, zu welcher das Gewicht, welches dieſem Drucke gleich iſt, in einer Zeiteinheit gehoben wird, iſt der vom Kolben in dieſer Zeit gemachte Weg. Damit dieſer zurückgelegt werden kann, muß der Cylinder an der Seite des Kolbens, von welcher aus die Bewegung erfolgt, ſtets mit Dampf gefüllt ſeyn und ſomit reducirt ſich alles auf die in einer Zeiteinheit entwickelte Dampfmenge oder was daſſelbe iſt, auf die in derſelben im Keſſel verdampfende Waſſermenge. Der wahre Nutzeffect wird vom hier bloß theoretiſch entwickelten ſtark abweichen, weil es Bewegungshinderniſſe gibt, die erſt in Abzug gebracht werden müſſen, und weil die Maſchine manche Nebenlaſt zu bewegen hat ꝛc. ꝛc.

Man kann in den meiſten Fällen nur $^2/_3$ des Geſammteffectes als eigentlichen Nutzeffect betrachten.

Geſetzt man habe den Effect einer Hochdruckmaſchine zu berechnen, deren Kolben eine Druckfläche von 60 Q. Zoll, eine Hubhöhe von 3 F. in der Secunde hat und die mit Dampf von 4 Atmoſphären Druck oder nach Abzug des Gegendruckes mit 3 Atm. arbeitet. Da der Druck einer Atmoſphäre auf 1 Q. Zoll 12.63 Pfd. beträgt, ſo beträgt der des Dampfes von 3 Atm. auf die Kolbenfläche $12.63 \times 3 \times 60 = 2273.4$ Pfd. Da in 1 Min vom Kolben $60 \times 3 = 180$ F. durchlaufen werden, ſo iſt der reine Effect der Maſchine $180 \times 2273.4 = 409212$. Davon 0.6 als Nutzeffect gibt daher 245527 Pfund in 1 Minute 1 Fuß hoch gehoben.

305. Man berechnet im gemeinen Leben die Kraft der Dampfmaſchinen nach Pferdekräften und verſteht unter einer Pferdekraft den Effect von 27000 Fußpfund, d. h. 27000 Pfd. in 1 Minute 1 Fuß hoch gehoben. Ein derlei mechaniſches Pferd iſt aber von einem phyſiſchen himmelweit verſchieden, weil erſteres dieſe Kraft beſtändig beibehält und keiner Erholung bedarf. Man kann annehmen, daß man, um den Effect dauernd hervorzubringen, den ein mechaniſches Pferd ſtätig erzeugt, vier phyſiſche Pferde zu unterhalten brauchte.

Die vorhin bezeichnete Dampf-Maſchine mit einem Nutzeffect von 245527 in der Minute würde demnach die Kraft von etwas mehr als 9 Pferden beſitzen.

306. Es iſt vorher behauptet worden, der Effect einer Dampfmaſchine hänge innig mit der Menge des verdampfenden Waſſers zuſammen; dieſe ſteht aber bei übrigens gleichen Umſtänden mit dem conſumirten Brennſtoffe in Verbindung. Würde aller Brennſtoff zur Dampferzeugung verwendet, ſo müßte der Bedarf an demſelben mit der Stärke der Maſchine im geraden Verhältniſſe ſtehen; allein da viel Brennſtoff ohne eigentlichen Nutzeffect verzehrt wird und dieſes bei kleineren Maſchinen in höherem Grade der Fall iſt, als bei größeren, ſo wird man auch größere Maſchinen mit verhältnißmäßig weniger Brennſtoff betreiben als kleinere. Einleuchtend iſt es übrigens, daß für Maſchinen von gleicher Kraft diejenige den Vorzug verdiene, die weniger Aufwand von Brennſtoff fordert. Man rechnet in der Regel von guten Steinkohlen für 1 Pferdekraft ſtündlich 20 Pfd., für 2, 10, 20, 100, 200 Pferdekräfte nach der Ordnung 31, 100, 166, 550, 1100 Pfd.

Im Jahre 1811 hob nach Berichten aus Amerika (Dupin, Mechanik B. 3. S. 344) eine Maſchine der beſten Art nach Watt's Conſtruction mit einem Scheffel Kohlen in 1 Min. 15 760000 Pfd. Waſſer; im Jahre 1815 hatte man ſie ſchon ſo weit verbeſſert, daß dieſe Wirkung auf 20.766000 Pfd. ſtieg, ja mittelſt einer nach Woolf's Princip conſtruirten Hochdruckmaſchine erlangte dieſe Wirkung die Größe von 46255250 Pfd. In England hebt die beſte, nach alter Art conſtruirte Maſchine mit 1 Buhel (1.7 Metzen) Kohlen 40 Millionen Pfd. Waſſer 1 Fuß hoch. Eine neuere Maſchine hebt aber mit demſelben Kohlenbedarfe 61.774166. Bei einer von Groſe in Cornwallis erbauten Dampfmaſchine, die ihrer Güte wegen berühmt iſt, kommt dieſe Wirkung auf 92.327000 Pfd. und bei einer Maſchine, die

in der Grube Fowey Conſols in Cornwallis arbeitet, gar auf 93 Mil. 168124 Pfd. (Phil. mag. 2 309. 7. 425. Mech. Mag. N. 643.) Mit den ſchon i. J. 1813 in England gangbaren Dampfmaſchinen würde man die 186 Mill Zentner wiegende ägyptiſche Pyramide, deren Bau 100.000 Menſchen durch zwanzig Jahre beſchäftigte, mit 36.000 Menſchen in achtzehn Stunden aufbauen können. Die 64 Dampfmaſchinen, welche man in Cornwallis allein zur Trockenlegung der Bergwerke anwendet, leiſten ſo viel, wie 448000 Pferde. England hatte im Jahre 1833 für 2.321560 Pferdekräfte Dampfmaſchinen, Frankreich für 1.785500, Preußen für 914985, mithin wurden in England $12^1/_2$ Millionen, in Frankreich 8 Millionen, in Preußen $4^1/_2$ Millionen arbeitende Menſchen durch Dampfkraft erſetzt. (Pogg. 50. 60. Bernoulli, Anfangsgründe der Dampfmaſchinenlehre. Baſel 1843. Prechtl's Encyklopädie. Art. Dampf. Baumgartner's Mechanik, Wien, 1834 S. 305. Deſſen Heitzung der Dampfkeſſel ꝛc. Wien 1841.)

Dritter Abſchnitt.

Bewegung der Körper (Dynamik).

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere.

307. Bewegung beſteht in der Veränderung des Ortes; je nachdem dieſer ein abſoluter oder relativer iſt, heißt auch die Bewegung eine abſolute oder relative. Erſtere iſt für uns nicht erkennbar, weil wir den abſoluten Ort nicht wahrnehmen können, letztere erkennen wir aber aus der Veränderung der Lage des Beweglichen gegen andere Körper. Oft iſt wohl das Daſeyn einer Bewegung außer Zweifel, aber wir können nicht durch bloße ſinnliche Wahrnehmung entſcheiden, welcher Körper der bewegte ſey. So z. B. zeigt uns das Auf- und Untergehen der Sonne und der Sterne deutlich genug, daß eine Bewegung vor ſich gehe, ob ſich aber Sonne und Sterne bewegen oder ob dieſes mit der Erde, von der aus uns jene Bewegung bemerklich wird, der Fall ſey, kann hieraus allein nicht entſchieden werden.

308. Man hat von der Bewegung eines Körpers eine klare Vorſtellung, wenn man die Bewegung jedes ſeiner Theile kennt. Oft haben alle dieſe Theile, die ſogenannten materiellen Puncte, einerlei Bewegung und in einem ſolchen Falle genügt es, dieſe zu kennen. Darum hat die Betrachtung der Bewegung materieller Puncte nicht bloß als Abſtraction, ſondern als für ſich brauchbar, ſchon einen Werth. Da, wo den einzelnen Theilen eines Körpers verſchiedene Bewegungen zukommen, muß man auch jede derſelben für ſich in Betrachtung ziehen. Dieſes wird oft dadurch bedeutend erleichtert, daß die einzelnen bewegten Puncte mit einander in unveränderlicher Verbindung ſtehen, und darum kann man von der Bewegung eines derſelben auf die anderen einen Schluß machen. Dieſes iſt namentlich bei den feſten Körpern der Fall. Bei flüſſigen Maſſen hat man meiſtens die Bewegung jedes einzelnen Punctes zu unterſuchen.

309. Die Größen, welche bei der Bewegung eines materiellen Punctes in Betrachtung kommen, ſind der Weg, den er zurücklegt

und die Zeit, in welcher dieſes geſchieht. Das Verhältniß beider führt zum Begriff von Geſchwindigkeit, wie ſchon S. 15 gezeigt worden iſt. Je nachdem die Bahn gerade oder krumm iſt, heißt die Bewegung gerad- oder krummlinig. Bei einer geradlinigen Bewegung gibt die letztere ſelbſt die Richtung der Bewegung an, bei einer krummlinigen wird die Richtung durch die Tangente angezeigt, welche man von der betreffenden Stelle der Bahn aus zieht. Beſchreiben alle unveränderlich mit einander verbundenen Puncte des Beweglichen parallele Bahnen, ſo heißt die Bewegung fortſchreitend, bleibt während der Bewegung eines Körpers ein mit ihm unveränderlich verbundener Punct oder eine Linie in Ruhe, ſo ſchreibt man ihm eine drehende Bewegung um dieſen Punct oder dieſe Linie zu. Die Bahn wird nach irgend einem üblichen Längenmaße beſtimmt, der Zeitmeſſung legt man eine von der Bewegung der Himmelskörper entnommene Größe, den Tag zum Grunde und drückt die fragliche Zeit durch vielfache oder aliquote Theile dieſer Einheit aus. Das gewöhnliche Maß iſt die Secunde, deren 60 auf eine Minute gehen, während 60 Minuten eine Stunde und 24 Stunden einen Tag geben.

310. Die Elemente der Bewegung eines frei beweglichen Punctes werden durch die Kraft beſtimmt, welche die Bewegung erzeugt. Eine momentan wirkende Kraft bringt eine geradlinige und gleichförmige Bewegung hervor, indem das bewegliche durch ſich ſelbſt weder die Richtung noch die Geſchwindigkeit zu ändern vermag und ſomit beides ſtets ungeändert bleiben muß. Aus dem Begriffe dieſer Bewegung (S. 15) folgt, daß wenn S und s die zurückgelegten Wege, T und t die dazu verwendeten Zeiten bedeuten, man $S : s = T : t$ hat. Für $t = 1$ iſt s der in einer Zeiteinheit zurückgelegte Weg, d. h. die Geſchwindigkeit. Bezeichnet man dieſe durch C, ſo hat man $S : C = T : 1$, mithin

$$S = CT, \quad C = \frac{S}{T} \quad \text{und} \quad T = \frac{S}{C}.$$

Dieſe drei Formeln enthalten alle Geſetze der gleichförmigen Bewegung.

311. Eine continuirliche Kraft erzeugt eine beſchleunigte Bewegung, wie ſchon S. 15 dargethan worden iſt. Wirkt die Kraft immer mit derſelben Stärke, ſo muß auch das Bewegliche in jedem Momente denſelben Zuwachs an Geſchwindigkeit erhalten, und es müſſen die Geſchwindigkeiten den Zeiten, vom Beginn der Bewegung an gerechnet, proportionirt ſeyn. Eine ſolche Bewegung heißt eine gleichförmig beſchleunigte und dieſe wird demnach durch eine continuirliche, conſtante Kraft hervorgebracht. Um die Geſetze einer ſolchen Bewegung zu finden, ſey t die Dauer der Bewegung und c die in der Zeit t erlangte Geſchwindigkeit, g die Acceleration d. h. die Geſchwindigkeit, welche in der Zeiteinheit erzeugt wird. Da hat man nun dem Begriffe dieſer Bewegung gemäß $t : 1 = c : g$, mithin

$$c = gt. \quad (1)$$

Um nun auch die Relation zwiſchen dem Wege s und der ihm entſprechenden Zeit t zu finden, theile man die Zeit t in eine gewiſſe An-

zahl n gleicher Theile, deren jeder τ heiße und denke ſich vor der Hand die bewegende Kraft ſtoßweiſe wirkend, ſo daß ſie am Anfange eines jeden Zeittheilchens τ dem beweglichen denſelben Zuwachs von Geſchwindigkeit beibringt. Heißt die im erſten Zeittheilchen t erzeugte Geſchwindigkeit γ, ſo hat man $\gamma : c = \tau : n\tau$, mithin $\gamma = \frac{c}{n}$ und dieſe Größe gibt zugleich jeden der eben erwähnten Zuwüchſe der Geſchwindigkeit. Man hat ferner den Weg, welcher

im erſten Zeittheilchen zurückgelegt wird $= \gamma\tau$,
» zweiten » » » $= 2\gamma\tau$,
» dritten » » » $= 3\gamma\tau$,
» n » » » $= n\gamma\tau$,

mithin $s = \gamma\tau + 2\gamma\tau + 3\gamma\tau$ ꝛc. $+ n\gamma\tau = \gamma\tau(1 + 2 + 3$ ꝛc. ... $+ n)$

$$= (n + 1)\frac{n}{2}\cdot\gamma\tau = \frac{n^2\gamma\tau}{2} + \frac{n\gamma\tau}{2} = \frac{n^2\gamma\tau}{2} + \frac{n^2\gamma\tau}{2n}.$$

Aber $n\gamma$ iſt gleich der Endgeſchwindigkeit c und $n\tau = t$, mithin

$$s = \frac{ct}{2} + \frac{ct}{2n}.$$

In dieſem Ausdrucke iſt das erſte Glied von n unabhängig, das zweite wird deſto kleiner, je größer n iſt, d. i. je ſchneller die Wirkungen der beſchleunigenden Kraft auf einander folgen. Es nähert ſich daher s dem Werthe $\frac{ct}{2}$ in demſelben Maße, in welchem ſich die beſchleunigende Kraft einer ununterbrochen wirkſamen, oder in welchem ſich die Bewegung einer gleichförmig beſchleunigten nähert. Für die beiderſeitige Grenze der Annäherung, nämlich für $n = \infty$, iſt daher

$$s = \frac{ct}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Aus 1 und 2 folgt $s = \frac{gt^2}{2}$ . . . . (3),

und hieraus $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ . . . . (4),

ſo wie $g = \frac{2s}{t^2}$ . . . . (5),

endlich, aus (2) und (4), $c = \sqrt{2gs}$. (6).

Aus der Formel (3) erkennt man, daß bei der gleichförmig beſchleunigten Bewegung: 1) der während der erſten Zeiteinheit zurückgelegte Weg $= \frac{g}{2}$, d. i. die Hälfte der Acceleration iſt; 2) die Wege ſich verhalten wie die Quadrate der Zeiten; 3) die in auf einander folgenden gleichen Zeiten zurückgelegten Wege wie die ungeraden Zahlen wachſen. Heißt nämlich s′ für die Zeit t — 1, was s für t bedeutet, ſo iſt

$$s - s' = \frac{g}{2}(2t - 1).$$

Setzt man hier t = 1, 2, 3, 4... ſo findet man für s — s′ nach einander die Werthe $\frac{g}{2}$, $\frac{3g}{2}$, $\frac{5g}{2}$, $\frac{7g}{2}$ u. ſ. w.

Da eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung rückwärts betrachtet als gleichförmig verzögerte erſcheint, d h. als eine ſolche, bei welcher die Geſchwindigkeit in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Zeit wächſt; ſo ſind in den hier entwickelten Formeln auch die Geſetze dieſer Bewegung enthalten.

312. Ein Bewegliches kann immer nur eine einzige Richtung haben, aber dieſe Richtung läßt ſich aus mehreren andern zuſammengeſetzt denken, gleich wie man die Größe einer Kraft als die Reſultirende mehrerer Kräfte betrachten kann In dieſem Sinne kann es auch zuſammengeſetzte Bewegungen geben. Es bewege ſich der Punct A (Fig. 104) in der Bahn A B, und während er dieſes thut, rücke die Bahn A B parallel mit ſich ſelbſt fort, ſo daß der Punct A beſtändig in der Linie A C verbleibt Während A in der Bahn A B nach D kommt, rücke die Bahn A B ſo weit fort, ſo daß A in der A C nach E gelange und eben ſo rücke in der Zeit, in welcher A in der Bahn A B nach D′, D″ und B gelangt, der Punct A der Bahn A B ſucceſſive nach E′, E″, C. Demnach wird das Bewegliche zur Zeit, wo es in der Bahn A B nach B kömmt, durch beide Bewegungen zuſammen nach F kommen, welcher Punct im Endpuncte F der Diagonale des Parallelogramms A B F C liegt. Dieſes Parallelogramm kann demnach füglich das der Bewegungen heißen. Hieraus folgt aber noch nicht, daß das Bewegliche die Diagonale A F wirklich durchlaufe; denn es kann auf jedem anderen Wege von A nach F gelangen. Die Geſtalt dieſes Weges hängt von dem Geſetze ab, nach welchem die componirenden Bewegungen A B und A C vor ſich gehen. Der Punct F′, nach welchem das Bewegliche in der Zeit kommt. in der es in der A B allein nach D′ und in der A C allein nach E′ kommen würde und den man findet, wenn man das Parallelogramm A D′ F′ E′ beſchreibt, dieſer Punct F′ liegt nur dann in der Diagonale A F, wenn die Proportion E′ F′ : C F = A E′ : A C oder was daſſelbe iſt, wenn A D′ : A B = A E′ : A C beſteht. Wird dieſer Bedingung in jedem Augenblick entſprochen, ſo befindet ſich das Bewegliche auch in jedem Augenblick in der A F und es durchlauft dieſe Linie. Es iſt klar, daß dieſes der Fall iſt, wenn das Bewegliche von zwei Kraſten getrieben wird, welche nach den Richtungen A B und A C momentan wirken; denn da muß es ſich ſo bewegen, als ob es von der Reſultirenden der beiden Kräfte getrieben würde. Dieſe Kräfte verhalten ſich aber wie die Geſchwindigkeiten, welche ſie dem Beweglichen ertheilen, und dieſe Geſchwindigkeiten ſind den Wegen A D′ und A E′ proportionirt. Die Kräfte können alſo durch dieſe Linien vorgeſtellt werden und es iſt A F deren Reſultirende. Aus der Zuſammenſetzung einer durch eine momentane Kraft erzeugten Bewegung mit einer ſolchen, die von einer continuirlich wirkenden hervorgeht, kann nie eine geradlinige Bahn reſultiren, wie die Diagonale

A F iſt, weil ſich da die nach der einen Richtung in verſchiedenen Zeiten zurückgelegten Wege wie die Zeiten, die nach der andern Richtung durchlaufenen aber wie die Quadrate derſelben verhalten, mithin obige Proportion nicht beſteht.

313. Nicht immer haben alle Puncte einer bewegten Maſſe dieſelbe Bewegung, doch kann man von der Bewegung eines Punctes auf die der anderen ſchließen, ſobald alle unveränderlich mit einander verbunden ſind. Ein Beiſpiel dieſer Art gibt ein Körper, der ſich um eine Are dreht. Da beſchreibt jeder außer dieſer Are liegende Punct einen Kreis, deſſen Halbmeſſer ſeinem Abſtande von der Are gleich iſt. Da alle dieſe Kreiſe in derſelben Zeit beſchrieben werden, ſo iſt die Geſchwindigkeit eines weiter von der Are abſtehenden Punctes größer als die eines der Are näheren, und zwar ſtehen dieſe Geſchwindigkeiten in directem Verhältniſſe der Entfernungen von der Drehungsare, ſo daß man demnach nur die Geſchwindigkeit eines einzigen Punctes von bekanntem Abſtande von der Are zu kennen braucht, um die der übrigen mittelſt einer einfachen Proportion berechnen zu können. Alle auf die Drehungsare ſenkrechten Linien beſchreiben in derſelben Zeit denſelben Winkel: dieſer iſt deſto größer, je ſchneller ſich der Körper um ſeine Are dreht, er bietet alſo ein angemeſſenes Mittel dar, die Drehungsgeſchwindigkeit zu beſtimmen. Iſt φ der in der Zeit t beſchriebene Winkel, ſo ſtellt $\frac{\varphi}{t}$ den in einer Zeiteinheit beſchriebenen vor und dieſer Winkel iſt demnach die Drehungsgeſchwindigkeit oder wie man ſie ſonſt noch nennt, die Winkelgeſchwindigkeit, Dieſer Ausdruck gilt für die gleichförmige Bewegung bei jedem beliebigen Werth von t, für die Veränderliche aber nur, wenn t unendlich klein iſt. Man ſetze $\frac{\varphi}{t} = \omega$. Iſt demnach v die Geſchwindigkeit eines Punctes, deſſen Abſtand von der Are a iſt, ſo hat man offenbar $v = a\,\omega$.

314. Wird ein Körper in drehende Bewegung um eine Are verſetzt und dann ſich ſelbſt überlaſſen, ſo ſetzt er vermöge ſeiner Trägheit dieſe Bewegung gleichförmig fort, falls keine Hinderniſſe derſelben Abbruch thun, und jedes Maſſentheilchen m beſitzt eine gewiſſe bewegende Kraft und widerſteht einer Aenderung der Bewegung mit einer dieſer Kraft gleichen Stärke. Heißt ω wie vorhin die Winkelgeſchwindigkeit, a der Abſtand des Theilchens m von der Are, ſo iſt $a\,\omega$ ſeine Geſchwindigkeit und $m\,a\,\omega$ ſeine Bewegungsgröße oder die ihm inwohnende Kraft. Eben ſo beſitzen die Maſſen m', m'' ꝛc. deren Abſtände von der Are a', a'' ꝛc. ſind, die Bewegungsgrößen $m'a'\omega$, $m''a''\omega$ ꝛc. Die Drehungsmomente der Maſſen m, m', m'' ꝛc. ſind demnach nach der Ordnung $m a^2 \omega$, $m' a'^2 \omega$, $m'' a''^2 \omega$ ꝛc. weil dieſes Moment ſtets das Product der Bewegungsgröße in den Abſtand der betreffenden Maſſe von der Drehungsare iſt. Die Summe der Momente aller Maſſen wird demnach ausgedrückt durch

$(m a^2 + m' a'^2 + m'' a''^2 + \ldots) \omega$. Soll irgend eine Kraft P, welche auf einen in der Entfernung r von der Are liegenden Punct und zwar ſenkrecht auf r wirket, dieſelbe Wirkung hervorbringen, wie die Maſſen m, m', m'' in ihren reſpectiven Entfernungen von der Are vermöge der ihnen bereits ertheilten Geſchwindigkeit oder was daſſelbe iſt, ſoll jene Kraft P im Stande ſeyn, den in ihren reſpectiven Entfernungen von der Are befindlichen Maſſen m, m' m'' ꝛc. die Winkelgeſchwindigkeit ω zu ertheilen; ſo muß

$$P r = (m a^2 + m' a'^2 + m'' a''^2 + \ldots) \omega$$

ſeyn. Es iſt demnach

$$\omega = \frac{P r}{m a^2 + m' a'^2 + m'' a''^2 + \ldots \text{ꝛc.}}$$

Soll eine einzige Maſſe M, die in der Entfernung A von der Are liegt, von der Kraft P, die auf einen in der Entfernung r von der Are befindlichen Punct wirkt, die Winkelgeſchwindigkeit ω erhalten, ſo muß offenbar

$$M A^2 = m a^2 + m' a'^2 + m'' a''^2 + \ldots \text{ ſeyn.}$$

Demnach ſind Maſſen in der hier in Rede ſtehenden Beziehung gleichwerthig, wenn ihre Producte in das Quadrat ihres Abſtandes von der Are einander gleich ſind. Man nennt darum ein ſolches Product das **Moment der Trägheit** einer Maſſe. Da man für $A = 1$ hat $M = m a^2 + m' a'^2 + m'' a''^2 + \ldots$, ſo iſt M die Größe der Maſſe, welche in der Entfernung $= 1$ von der Are angebracht von einer Kraft eben ſo beſchleuniget wird, wie die in verſchiedenen gegebenen Entfernungen von dieſer Are zerſtreuten Maſſen. Die Beſtimmung dieſes Momentes iſt zur näheren Kenntniß der drehenden Bewegung eines Körpers von großer Wichtigkeit, fordert aber in den meiſten Fällen höhere Rechnungsmethoden.

315. Die Trägheit eines ſich drehenden Körpers iſt zwar der Grund, daß er ſeine Bewegung ſelbſt noch dann fortſetzt, wenn die bewegende Kraft ſchon zu wirken aufgehört hat, aber nicht der Grund, daß dieſe Art der Bewegung fortdauert; denn vermöge der Trägheit ſucht ſich eine Maſſe immer nur in derſelben Richtung zu bewegen. Iſt A B (Fig. 105) ein ſo kleines Stück einer krummen Bahn, daß man es für gerade halten kann, ſo ſucht das Bewegliche in der Verlängerung von A B nach x fortzugehen, wird aber durch den Zuſammenhang der materiellen Theile oder durch ein anderes Hinderniß gezwungen in die Richtung B y überzugehen, wobei B x und B y einen unendlich kleinen Winkel einſchließen. Wird das Bahnſtück A B in der Zeit τ zurückgelegt, ſo würde das Bewegliche in derſelben Zeit vermöge ſeiner Trägheit den Weg $BC = AB$ zurücklegen. Zieht man von C die auf B y ſenkrechte C D und vollendet das Parallelogramm B D C E, ſo kann man ſich vorſtellen, es ſey die dem bewegten Theilchen vermöge ſeiner Trägheit eigene Bewegung B C in die zwei Bewegungen B E und B D zerlegt. Da nun aber die Bewegung nach B D erfolgt, ſo muß die nach B E durch einen Widerſtand aufgehoben werden. Die Kraft, vermöge welcher das Bewegliche in der Zeit τ

den Weg B E zurückzulegen ſucht, wird **Fliehkraft** oder **Schwungkraft** genannt. Sie wirkt ſenkrecht auf die Bahn B D, und bewirkt in dieſer Richtung einen Druck auf dieſelbe.

316. Schließt das Bahnſtück B D mit der Verlängerung des daran hängenden A B den Winkel C B D $= \alpha$ ein, ſo iſt B D $=$ B C cos. α. So lange alſo α einen angebbaren Werth hat, iſt B D $<$ B C $=$ B A und eine von der Trägheit der Maſſe abhängige Bewegung in der Bahn, wovon A B und B D Stücke ſind, kann nicht gleichförmig ſeyn. Iſt aber α unendlich klein, wie dieſes der Fall iſt, wenn A B, B D Elemente einer krummen Linie ſind, ſo kann man cos. $\alpha = 1$ und daher B D $=$ B C ſetzen. In dieſem Fall iſt alſo die Bewegung eine gleichförmige. Die Fortſetzung der drehenden Bewegung einer Maſſe um eine Axe, nachdem die Kraft zu wirken aufgehört hat, iſt demnach von dieſer Art.

317. Um einen Ausdruck für die Fliehkraft im Kreiſe zu finden, ſey Fig. 106 der Kreis, in welchem ſich die Maſſe m bewegt, und O ſein Mittelpunct. Es ſeyen A B, B E Stücke der Bahn, deren jedes in der Zeit τ zurückgelegt wird, und die ſo klein angenommen werden, daß man ſie für gerade halten kann. Zieht man in B die Tangente B x, ſo ſtellt dieſe die Verlängerung des Bahnſtückes A B vor. Wird nun davon ein Stück B D $=$ A B abgeſchnitten, E mit D verbunden, wie dieſes in Fig. 105 geſchehen iſt, und das Parallelogramm B E D F vollendet; ſo iſt B F die Richtung der Fliehkraft und zugleich der Weg, den das Bewegliche in der Zeit τ vermöge dieſer Kraft zurücklegen würde. Heißt v die Geſchwindigkeit, mit welcher dieſes geſchieht, ſo hat man $v = \frac{BF}{\tau}$. (1)

Da das Dreieck D B E gleichſchenkelig iſt und bei B einen unendlich kleinen Winkel hat, ſo kann man ſowohl B D E als B E D für rechte Winkel annehmen und daher auch B F als auf B E ſenkrecht ſtehend, mithin in der Verlängerung des Halbmeſſers B O liegend anſehen. Zieht man von E die mit D B parallele E G, ſo iſt B G $=$ E D $=$ B F. Aber nach der bekannten Eigenſchaft des Kreiſes iſt B G : B E $=$ BE : B O oder B G $= \frac{BE^2}{BO}$. Bewegt ſich der Körper um ſeine Axe mit der Geſchwindigkeit c, ſo iſt B E $= c\tau$; nennt man ferner den Halbmeſſer des Kreiſes r, ſo hat man B G $= \frac{c^2 \tau^2}{r}$, mithin aus (1) $v = \frac{c^2}{r}$. Die Fliehkraft F iſt demnach $mv = \frac{mc^2}{r}$. (2)
Dreht ſich der Körper in der Zeit t einmal um ſeine Axe, ſo hat man $ct = 2r\pi$ und mittelſt dieſes aus (2) $F = \frac{4\pi^2 mr}{t^2}$. Dieſer Ausdruck gilt nicht bloß für die Fliehkraft im Kreiſe, ſondern auch für die in einer andern Curve, welche an der Stelle, für welche man dieſe Kraft ſucht, den Krümmungshalbmeſſer r hat.

318. Wenn ſich ein Körper um eine Axe dreht, ſo bekommen alle außer derſelben liegenden Theile, der ſich entwickelnden Fliehkraft gemäß, ein Beſtreben, ſich nach einer auf ſie ſenkrechten Richtung von ihr zu entfernen. Sind die Theile eines ſolchen Körpers verſchiebbar, ſo kann dadurch eine Aenderung in der Geſtalt deſſelben oder gar eine Trennung Statt finden. Eine weiche Kugel, die ſich um einen ihrer Durchmeſſer dreht, bekommt eine abgeplattete Geſtalt, weil die Theile, welche in der Ebene des größten, auf der Axe ſenkrechten Kreiſes liegen, eine größere Schwungkraft haben, als diejenigen, welche ſich in einer andern Ebene befinden. Sind die Theile eines ſich drehenden Körpers nicht verſchiebbar, ſo geht aus ihrer Schwungkraft eine Wirkung auf die Axe hervor. Iſt die Maſſe des Körpers dergeſtalt um die Axe herum angeordnet, daß ſich die Wirkungen ſämmtlicher Schwungkräfte der Körpertheile auf die Axe aufheben, wie es der Fall iſt, wenn die Axe vollkommen ſymmetriſch von Maſſe umgeben erſcheint, mithin die Schwungkraft jedes Theilchens durch die gleiche und entgegengeſetzte eines andern Theilchens aufgehoben wird; ſo heißt die Axe eine freie Axe. Es läßt ſich mittelſt höherer Rechnung beweiſen, daß jeder Körper wenigſtens drei freie Axen zulaſſe, die ſich in ſeinem Schwerpuncte rechtwinklig durchſchneiden. Um zwei derſelben erfolgt die Drehung mit Stabilität, d. h. der Körper zeigt, wenn äußere Kräfte ſeine Drehung um eine dieſer Axen zu ſtören ſuchen, ein Beſtreben in ſeinem früheren Zuſtande zu verharren; der dritten freien Axe kommt aber keine Stabilität zu. Die Axe der Erde, die Axen unſerer gewöhnlichen Schwungräder u. dgl. ſind ſtabile freie Axen.

Dieſes läßt ſich beſonders gut mit einem von Bohnenberger angegebenen Inſtrumente verſinnlichen, das in Fig. 107 abgebildet iſt. Es beſteht aus drei, unter rechten Winkeln gegen einander beweglichen Ringen A, und aus einem innerhalb des kleinſten derſelben angebrachten maſſiven, um ſeine Axe beweglichen, abgeplatteten Sphäroid B. An der Axe deſſelben iſt eine kleine Rolle c angebracht. Gibt man dem inneren Kreiſe und dadurch auch der Axe der Kugel eine ſchiefe Lage, befeſtiget an einem Stifte der Rolle eine mit einer Schlinge verſehene feine Schnur, wickelt ſie faſt ganz auf und ſetzt dann durch einen raſchen Zug an dieſem Faden, wodurch man ihn ganz abwickelt, die Kugel in eine ſchnell drehende Bewegung; ſo kann man das Inſtrumentchen frei herumtragen, und die Axe wird, wenn das Sphäroid gehörig äquilibrirt iſt, immer nach derſelben Gegend hinſehen. Stößt man mit dem Finger auf den Umfang des innerſten Ringes, ſo fühlt man einen bedeutenden Widerſtand, die Axe läßt ſich nicht leicht aus ihrer Lage bringen, während ſie, wenn der Körper im Zuſtande der Ruhe iſt, der geringſten Kraft weicht. Es ſcheint, als ob die Schwungkraft jedes Theilchen in der Ebene zu erhalten ſtrebe, in der es ſich dreht. Sucht man durch kleine Stöße die Neigung des innerſten Ringes zu ändern, ſo bewegt ſich der mittlere Ring und zwar, wenn der Stoß von oben herab geht, dem Sinne der Drehung des Körpers entgegen; ſtößt man gegen den mittleren Ring, um ihn in eine andere Verticalebene zu ſtellen, ſo ändert ſich die Neigung des innerſten Ringes. Bringt man am unteren Theile des innerſten Ringes ein kleines Gewichtchen an, welches denſelben, wenn kein Drehen

Statt findet, ſo herabzieht, daß die Axe der Kugel vertical ſteht, neigt dann den inneren Kreis gegen den Horizont und erregt die drehende Bewegung; ſo nimmt die Axe nicht alſogleich die verticale Lage an, ſondern bewegt ſich nach einer Richtung, welche der Richtung der Rotation der Kugel entgegengeſetzt iſt, und zwar mit einer deſto größeren Geſchwindigkeit, je langſamer die Axendrehung der Kugel wird (Gilb. Ann. 60 60). — Aus der Fliehkraft erklärt ſich: das Spritzen naſſer Räder oder der Schleifſteine beim Umdrehen, das heftige Herumſchleudern der Stücke eines gebrochenen, im Laufe begriffenen Rades oder Mühlſteines, das oftmalige Losreißen eines Hammers vom Stiele während des Schwunges; die Wirkung des Centrifugalgebläſes, der Centrifugal-Trockenmaſchine, Heß's Waſſermaſchine [ein Syſtem offener, um eine verticale Axe beweglicher und gegen dieſelbe geneigter Röhren, die unten im Waſſer ſtehen, oben aber in eine Rinne ſich münden (Fig. 108)]; die Wirkung der Schleuder, der Ventilatoren, und die vielerlei Erſcheinungen, welche mittelſt der ſogenannten *Centralmaſchine* hervorgebracht werden.

Zweites Kapitel.

Mittheilung der Bewegung (Stoß der Körper).

319. Wenn ein Körper an eine bewegliche Maſſe *ſtößt*, ſo erleidet er nicht nur ſelbſt eine Veränderung ſeiner Bewegung, ſondern bewirkt auch eine an der geſtoßenen Maſſe. Die Größe und Beſchaffenheit dieſer Veränderung hängt von der Richtung der bewegten und zuſammenſtoßenden Körper, von ihrer Geſchwindigkeit, Maſſe und Geſtalt, ja auch von ihrer Elaſticität und ihrem Aggregationszuſtande ab. Der Stoß heißt *gerade*, wenn die Richtung der Bewegung der Körper auf der Ebene, wo ſie einander im Anfange des Stoßes berühren, ſenkrecht iſt, ſonſt *ſchief*; man nennt ihn *central*, wenn die Richtung der Körper vor dem Stoße durch den Mittelpunct ihrer Maſſe (Schwerpunct) geht, *excentriſch*, wenn dieſes nicht der Fall iſt. Bei kugelförmigen, homogenen Körpern, die hier vorzüglich betrachtet werden ſollen, iſt jeder gerade Stoß auch ein centraler.

320. Die Veränderung, welche der Stoß eines Körpers in der Geſchwindigkeit eines anderen hervorbringt und ſelbſt erleidet, kann nicht das Werk eines Augenblickes ſeyn, ſondern bedarf einer größeren, wenn auch unbemerkbar kurzen Zeit. Wirkt eine Maſſe auf eine andere zu ſchnell, als daß ſich die Geſchwindigkeit in alle Theile bis zum gehörigen Grade in rechter Zeit verbreiten könnte; ſo werden die unmittelbar getroffenen Puncte des geſtoßenen Körpers die ganze Gewalt des Stoßes aushalten müſſen. Iſt der Zuſammenhang der Theile nicht groß genug, um dieſer Gewalt zu widerſtehen, ſo erfolgt eine Trennung.

Dieſes erläutern unzählige Erſcheinungen. Z. B. ein Bret, welches ſo aufgeſtellt worden, daß es durch einen mäßigen Druck umgeworfen werden kann, bleibt ſtehen, wird aber durchlöchert, wenn es von einer ſcharfen Flintenkugel getroffen wird; eine Glastafel wird von einer

ſolchen Kugel durchlöchert, ohne zerſplittert zu werden, während letzteres bei einem ſchwächeren Drucke, der eine Trennung der Glastheile zur Folge hat, nie unterbleibt; ein ſchwacher Faden, der einen Stein hebt, wenn man dabei langſam anzieht, zerreißt, wenn man beim Anziehen zu eilig verfährt; Schießpulver in ein dazu beſtimmtes Felsloch geſchüttet und mit loſem Sande bedeckt, zerſprengt den Fels, wenn es angezündet wird, u. a. m.

321. Sind M und m unelaſtiſche Maſſen, die ſich mit den Geſchwindigkeiten C und c, und zwar gerade und central ſtoßen; ſo iſt MC die Größe der Bewegung der erſten, mc die Größe der Bewegung der zweiten Maſſe, und es iſt einerlei, ob M mit der Geſchwindigkeit C auf m wirkt, oder ob die Kraft, welche der Maſſe M die Geſchwindigkeit C ertheilte, unmittelbar ihre Wirkung auf m äußert. Bewegen ſich nun M und m gegen einander, und es iſt $MC = mc$, ſo ruhen beide Maſſen nach dem Stoße Iſt aber $MC > mc$, ſo bleibt von den Kräften MC und mc nach dem Stoße noch $MC - mc$, und dieſe Kraft muß die Maſſe $M + m$ nach der Richtung, welche der Maſſe M vor dem Stoße eigen war, fortbewegen. Geſchieht dieſes mit der Geſchwindigkeit x, ſo iſt

$$MC - mc = (M + m)x, \text{ oder } \frac{MC - mc}{M + m} = x.$$

Bewegen ſich beide Maſſen in derſelben Richtung, ſo muß die anſtoßende Maſſe M der geſtoßenen m Bewegung mittheilen, dadurch verliert ſie aber ſelbſt, und zwar ſo lange, bis beide Maſſen mit gleicher Geſchwindigkeit fortſchreiten. Heißt dieſe Geſchwindigkeit x, ſo iſt $MC + mc$ das Maß der Geſammtkraft vor dem Stoße, $(M + m)x$ dasſelbe nach dem Stoße, und daher $M(C - x)$ der Verluſt an bewegender Kraft bei der Maſſe M, $m(x - c)$ der Gewinn bei der Maſſe m, und

$$M(C - x) = m(x - c), \text{ oder } x = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Für $c = o$ wird $x = \frac{MC}{M + m}$, für $M = m$ wird $x = \frac{C + c}{2}$.

Alle möglichen Fälle ſtellt die Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ dar, wo c poſitiv oder negativ genommen wird, je nachdem es mit C der Richtung nach übereinſtimmt oder ihr entgegengeſetzt iſt, d. i. je nachdem ſich beide Maſſen vor dem Stoße nach einer oder nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen.

322. Aus den Geſetzen des Stoßes für unelaſtiſche Maſſen laſſen ſich leicht jene ableiten, welche beim Stoße elaſtiſcher Körper Statt finden; man braucht nur den Einfluß der Elaſticität mit in Rechnung zu bringen. Um die Beſchaffenheit dieſes Einfluſſes einzuſehen, betrachte man, was ſich ereignet, wenn ein elaſtiſcher Körper an eine feſte, unbewegliche Wand anſtößt. Sobald der Stoß beginnt, wird der Körper zuſammengedrückt, ſo daß ſein auf der getroffenen Fläche ſenkrechter Durchmeſſer vermindert wird; dabei erleidet er dieſelbe Veränderung, als wenn er feſt wäre, d. i. er verliert ſtufenweiſe

ſeine Bewegung. So wie ſeine Geſchwindigkeit vermindert wird, läßt auch der Druck auf die Fläche nach; wenn er dieſe ganz eingebüßt hat, fängt er an, ſeine vorige Geſtalt wieder anzunehmen und ſich auszudehnen. Dadurch erlangt er die vorhin verlorne Größe der Bewegung wieder, jedoch nach entgegengeſetzter Richtung, vorausgeſetzt, daß er vollkommen elaſtiſch iſt. Wäre letzteres nicht der Fall, ſo würde er nur einen Theil der verlornen Größe der Bewegung wieder erlangen.

323. Stoßen zwei elaſtiſche Maſſen (Fig. 109) M und m zuſammen, ſo iſt leicht einzuſehen, daß jede für ſich eine Veränderung erleidet, die jener ähnlich iſt, welche vorhin angegeben wurde. Geſetzt die Maſſen M und m ſchreiten vor dem Stoße mit den Geſchwindigkeiten C und c fort, wo c negativ iſt, wenn m eine der M entgegengeſetzte Richtung hat. Berühren ſie ſich beim Beginne des Stoßes in A, ſo mag B A C eine Ebene ſeyn, die auf der Richtung der Bewegung der Körper M und m ſenkrecht ſteht und gegen welche der Stoß beider Maſſen gerichtet iſt. Offenbar iſt hier alles ſo wie vorhin, nur mit dem Unterſchiede, daß die Ebene B A C ſelbſt beweglich gedacht werden muß. Deßhalb wird auch die Geſchwindigkeit des anſtoßenden Körpers in dem Augenblicke, wo die Zuſammendrückung in Ausdehnung übergeht, nur in ſo weit verloren gegangen ſeyn, bis ſie der Geſchwindigkeit der Ebene B A C oder des geſtoßenen Korpers gleich kommt; denn in dieſem Falle iſt es gerade ſo, als wenn die anſtoßende Maſſe und die Ebene B A C gegen einander in Ruhe wären. Iſt x die Geſchwindigkeit der Ebene B A C im Augenblicke der größten Zuſammendrückung beider Maſſen, d. h. ſind bis dahin die Bewegungsgrößen M C und m c der Maſſen M und m in M x und m x übergegangen; ſo erleidet, in Folge des Ausdehnens, die Maſſe M den bis zur größten Zuſammendrückung eingetretenen Verluſt $M(C-x)$ an Bewegungsgröße noch einmal, während der Maſſe m der Gewinn an Bewegungsgröße $m(x-c)$ noch einmal zu Theil wird. Sind C', c' die Geſchwindigkeiten der Maſſen M, m nach dem Stoße, ſo iſt offenbar

$$C' = x - (C - x) = 2x - C = \frac{(M-m)\,C + 2\,m\,c}{M+m},$$

$$c' = x + (x - c) = 2x - c = \frac{(m-M)\,c + 2\,M\,C}{M+m}.$$

Aus dieſen Formeln ergeben ſich mehrere wichtige Folgerungen. Denkt man ſich m vor dem Stoße als ruhend, d. h. $c = o$ ſo hat man

$$C' = \frac{(M-m)\,C}{M+m},\quad c' = \frac{2\,M\,C}{M+m}.$$

Der Werth von C' iſt nun poſitiv oder negativ, je nachdem $M > m$ oder $M < m$ iſt, d. h. es bewegen ſich nach dem Stoße beide Körper nach derſelben Richtung wie vor dem Stoße, wenn die vor dem Stoße bewegte Maſſe größer iſt als die ruhende; hingegen erlangt der

ſtoßende Körper durch den Stoß eine ſeiner früheren entgegengeſetzte Richtung, wenn die ſtoßende Maſſe kleiner iſt iſt als die geſtoßene. Hat man nebſt $c = o$ auch noch $M = m$, ſo wird $C' = o$ und $c' = C$, d h ſtoßt ein elaſtiſcher Körper an einen ruhenden von gleicher Maſſe, ſo kommt durch den Stoß die ſtoßende Maſſe in Ruhe und die geſtoßene übernimmt ihre Geſchwindigkeit. Denkt man ſich eine Reihe ruhender gleicher elaſtiſcher Maſſen, und läßt die erſte an die zweite ſtoßen, ſo pflanzt ſich dieſer Stoß in der ganzen Reihe fort, indem gleichſam jede Maſſe ihre Bewegung an die benachbarte abgibt und ſelbſt in Ruhe kommt.

Aus den obigen allgemeinen Werthen für C' und c' folgt

$$c' - C' = C - c,$$

d. i. die relative Geſchwindigkeit beider Körper nach dem Stoße iſt der relativen Geſchwindigkeit vor dem Stoße gleich, aber der Richtung nach entgegengeſetzt.

Dieſelben Werthe von C' und c' geben:

$$M C'^2 + m c'^2 = 4 x^2 (M + m) - 4 x (M C + m c) + M C^2 + m c^2$$
$$= 4 x \, [x (M + m) - M C - m c] + M C^2 + m c^2.$$

Aber es iſt (321)

$$x (M + m) - M C - m c = o; \text{ daher}$$
$$M C'^2 + m c'^2 = M C^2 + m c^2.$$

Man nennt das Product einer Maſſe in das Quadrat ihrer Geſchwindigkeit ihre **lebendige Kraft**; demnach iſt beim Stoße vollkommen elaſtiſcher Körper die Summe der **lebendigen Kräfte** vor und nach dem Stoße gleich. Dieſes iſt ein beſonderer Fall des ſogenannten Princips der Erhaltung lebendiger Kräfte.

Die Geſetze des Stoßes wurden faſt gleichzeitig von **Wallis**, **Huyghens** und **Wren** 1668 entdeckt.

324. Um die Uebereinſtimmung dieſer Geſetze mit der Erfahrung zu prüfen, bedient man ſich der ſogenannten **Stoßmaſchine**, wie ſie **Nollet** und **s'Graveſande** angegeben haben. Das Weſentlichſte einer ſolchen Geräthſchaft beſteht in mehreren, an gleich langen Fäden AB und CD (Fig. 110) hängenden Kugeln, deren Körper wie z. B. B und D einander berühren und deren Mittelpuncte in derſelben Hohe liegen. Hinter ihnen befindet ſich ein Kreisbogen EF, der von ſeinem unterſten Puncte angefangen nach aufwärts zu beiden Seiten in Grade getheilt iſt. Wird einer dieſer Körper bis G gehoben und dann frei gelaſſen, ſo erlangt er beim Fallen durch den Bogen GB eine Geſchwindigkeit, die man nach einer ſpäter zu erwähnenden Regel finden und gleich am Gradbogen ſelbſt ein für allemal anmerken kann. Zu Verſuchen über den Stoß feſter, unelaſtiſcher Körper nimmt man Maſſen aus trockenem Thone oder Mehlteig, für elaſtiſche wählt man Elfenbein oder Guajakholz. Hängt man mehrere elaſtiſche Kugeln von gleichem Durchmeſſer neben einander, hebt dann eine gewiſſe Anzahl auf und läßt ſie zugleich herabfallen, damit ſie an die übrigen anſtoßen; ſo fliegen auf der entgegengeſetzten Seite gerade ſo viele weg, als auf der andern gehoben wurden. Der

Grund dieſer Erſcheinung liegt in 323. Wählt man ſolche Kugeln, die von einer Seite gegen die andere beſtändig an Größe zunehmen, und man ertheilt der größten derſelben eine gewiſſe Geſchwindigkeit; ſo muß die zweite dadurch ſchon eine größere Geſchwindigkeit erlangen, die dritte eine noch größere, und ſo fort bis zur kleinſten und letzten, welche die größte Geſchwindigkeit haben wird.

Huyghens führt in ſeinem Werke de motu corporum ex percussione (op. posth. Tom. II. pag. 104) folgendes Beiſpiel an: Hängen 100 elaſtiſche Kugeln neben einander, deren Maſſen wachſen, wie die Zahlen 1, 2, 4, 8 ꝛc. und es ſtößt die größte mit der Geſchwindigkeit 1 an die nächſtfolgende; ſo muß die letzte mit einer Geſchwindigkeit fortfliegen, die nahe durch 2338500000000 ausgedrückt wird.

325. Beim ſchiefen Stoße läßt ſich die Wirkung der bewegten Körper immer in zwei auflöſen, wovon eine für ſich einen geraden Stoß gibt, während die andere gar nichts zum Stoße beiträgt. Betrachtet man daher die erſtere für ſich allein und findet die Geſchwindigkeit und Richtung nach dem Stoße, die daraus hervorgehen würde, ſetzt dieſe mit der vorhin außer Acht gelaſſenen zuſammen; ſo erhält man die wahre Richtung und Geſchwindigkeit nach dem Stoße. Geſetzt, es bewege ſich eine unelaſtiſche Maſſe nach der Richtung AB (Fig. 111) gegen die unbewegliche Ebene CD, und es ſey ihre Geſchwindigkeit durch BE ausgedrückt. Zerlegt man BE in die mit CD parallele BF und in die auf ihr ſenkrechte BG; ſo ſieht man, daß letztere durch den Widerſtand der Ebene aufgehoben wird und daß ſich der Körper nach dem Stoße längs der CD mit der Geſchwindigkeit BF fortbewegen muß. Iſt der Körper elaſtiſch, ſo wird im Momente des Zuſammendrückens BG aufgehoben, aber im Momente der Ausdehnung eine Geſchwindigkeit nach entgegengeſetzter Richtung erzeugt, die bei vollkommener Elaſticität des Körpers gleich BG, widrigenfalls aber kleiner iſt als BG. Iſt nun in der Vorausſetzung des erſteren Falles $BH = BG$, ſo nimmt der Körper nach dem Stoße die Richtung der Diagonale BI des Parallelogramms BHIF, und man kann leicht beweiſen, daß $ABC = IBD$ iſt. Geſchähe der Stoß auf die gekrümmte Fläche KBL, ſo müßte dasſelbe wie vorhin geſchehen, wenn CD die Berührungsebene an dem getroffenen Puncte B von KL vorſtellt.

Sind M und m (Fig. 112) Maſſen, wovon eine die Richtung Mx, die andere die Richtung my hat, ſo daß ſie im Anfange des Stoßes die in der Figur gezeichnete Lage gegen einander haben, und ſtellen MA und mB die Geſchwindigkeiten der Maſſen vor dem Stoße vor; ſo ziehe man durch die Mittelpuncte der Maſſen M und m die gerade Linie CD, und zerlege MA in die auf CD ſenkrechte MG und in die mit ihr parallele MD, eben ſo mB in mC und mH. Die Kräfte mC und MD bewirken einen geraden Stoß, während mH und MG gar nichts dazu beitragen. Erlangt M durch den Stoß die Geſchwindigkeit ME, ſo ſetze man ſie mit MG zuſammen, indem man

AG bis F verlängert, ſo daß GF=ME wird, und es iſt MF die Richtung der Maſſe M nach dem Stoße. Auf gleiche Weiſe findet man die Richtung der Maſſe m.

326. Der excentriſche Stoß bewirkt eine fortſchreitende Bewegung, die ſo vor ſich geht, als wäre der Stoß central, überdieß aber noch eine drehende um den Mittelpunct der Maſſe des geſtoßenen Körpers. Es iſt dieß eine Folge einer allgemeinen Eigenſchaft der Bewegung jedes Syſtemes materieller Puncte, die darin beſteht, daß, wenn Kräfte auf gegebene Maſſen einwirken, der gemeinſchaftliche Schwerpunct (Mittelpunct) derſelben ſich ſo bewegt, als ob in ihm alle Maſſen vereinigt wären und die Kräfte ihren eigenthümlichen Richtungen parallel auf ihn unmittelbar einwirkten. Man nennt dieſen Satz das Princip der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunctes.

Ueber den Stoß findet man mehr in s'Gravesande elementa physicae. Leidae. 1742. Tom. I. p. 234 et s. Die erſten Originalaufſätze enthalten: Walisii tractatus de percussione. Oxon. 1669. Hugenii op. posth Lugd. Bat. 1703. p. 369 et s.

Drittes Kapitel.

Hinderniſſe der Bewegung.

327. Die Erfahrung lehrt, daß die Bewegungen in der Natur nicht ſo vor ſich gehen, wie es den bewegenden Kräften angemeſſen wäre. Der Grund hievon liegt darin, daß die Tendenz zur Bewegung hindernde Kräfte hervorruft. Die Körper ſind nämlich niemals ſo glatt, daß wenn einer auf dem andern ſich befindet, ſie von einander ſcharf geſondert bleiben, ſondern es dringen die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern ein und ſie haften dann feſt an einander. Soll nun eine Bewegung des einen über den andern eintreten, ſo müſſen die Erhöhungen losgeriſſen oder verſchoben werden oder der Körper muß ſich heben, um die Erhöhungen ſeiner Unterlage zu überſteigen. Dazu iſt natürlich ein Kraftaufwand erforderlich. Dieſer iſt es, der die Größe des Hinderniſſes, das hier durch das Wort Reibung bezeichnet wird, mißt.

Jeder Körper befindet ſich in der Regel in der Luft, im Waſſer oder in irgend einer andern Flüſſigkeit, die man ſein Mittel nennt. Soll er in demſelben bewegt werden, ſo muß er das Mittel erſt beſeitigen oder vor ſich hinſchieben, mithin deſſen Widerſtand überwältigen. Auch dazu gehört ein beträchtlicher Kraftaufwand.

Endlich wird durch Biegſamkeit, Elaſticität, Adhäſion der Körper u. dgl. noch manches andere Hinderniß begründet. So z. B. wird ein ſchwerer kugelförmiger Körper, in Folge ſeiner Elaſticität, flach gedrückt und verhält ſich beim Fortrollen einem Polyeder ähnlich. Elaſtiſche, biegſame oder weiche Unterlagen erhalten dieſer ihrer Be-

ſchaffenheit gemäß Vertiefungen, welche dem Fortſchieben der Körper auf ihnen im Wege ſtehen; Stricke widerſtehen vermöge ihrer Steifheit, wenn ſie gerade ſind, der Biegung, wenn ſie gebogen ſind, der Annahme einer geraden Form. Die Haupthinderniſſe ſind aber die Reibung und der Widerſtand des Mittels, und von dieſen ſoll nun ausführlicher die Rede ſeyn.

328. Die Reibung äußert ſich entweder an der Stelle des Körpers, auf welche die bewegende Kraft unmittelbar einwirkt, und ſie vermindert deßhalb dieſe Kraft um einen Theil, welcher dem Widerſtande an Größe gleichkommt, oder ſie zeigt ſich an einem Orte, der nicht in der Richtung der Kraft liegt, ſo daß ſie als eine Laſt auftritt, welche die Kraft mittelſt einer Maſchine, z. B. mittelſt eines Hebelarmes, zu bekämpfen hat. Man nennt die Reibung im erſten Falle die abſolute, im zweiten die relative, und ſieht ſtets die Größe der Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, als ihr Maß an.

329. Ueber die Reibung hat vorzüglich Coulomb genaue und lehrreiche Verſuche angeſtellt. Er bediente ſich dazu einer Vorrichtung, die ſchon früher von Muſſchenbroek, wiewohl unvollkommener, zu gleichem Zwecke angewendet wurde, und Reibungsmeſſer (Tribometer) heißt. Sie beſteht (Fig. 113) aus einem ſehr feſten, horizontalen Tiſch A, auf dem der Länge nach zwei Holzſtücke a befeſtiget ſind, die über denſelben beiderſeits hinausragen und auf einer Seite eine Rolle b, auf der andern einen Haſpel c haben. Ueber dieſe Holzſtücke wird eine möglichſt geglättete Bohle B ſo gelegt, daß ihre Oberfläche genau horizontal iſt. Hierauf kommt eine Schleife C zu liegen, die an jeder der zwei einander gegenüberſtehenden Seiten Haken hat, wovon der eine dazu dient, um die Schnur zu befeſtigen, welche über die Rolle geht und eine Wagſchale zur Aufnahme derjenigen Gewichte trägt, die nöthig ſind, um die Schleiſe über die Bohle hingleiten zu machen, der andere, um mittelſt einer zweiten Schnur und des vorhin erwähnten Haſpels die Schleife wieder zurückführen zu können. Um Reibungsverſuche unter möglichſt abgeänderten Umſtänden machen zu können, wählte Coulomb Bohlen von verſchiedenem Materiale, beſonders von Holz und Metall als Unterlage, und eben ſo mannigfaltige Schleifen, ließ bald beide aus demſelben, bald jedes aus einem andern Stoffe beſtehen, änderte das Gewicht der Schleife und die Menge der Berührungspuncte mit der Unterlage verſchieden ab, ließ ſie bald ungeſchmiert, bald mit Schmiere verſehen über einander gleiten, unterſuchte die Reibung einmal gleich nachdem die Schleife auf die Bohle gelegt worden war, dann aber einige Zeit nach eingetretener Berührung ſowohl wenn ſie von Ruhe in Bewegung übergingen, als während der Bewegung ſelbſt; er ließ die Bewegung bald mit größerer, bald mit kleinerer Geſchwindigkeit vor ſich gehen, und beſtimmte bei jedem dieſer Verſuche den Reibungsexponenten, d. i. das Verhältniß des Druckes zu der Kraft, mit welcher ſich der Körper zu bewegen anfing. Coulomb dehnte ſeine Verſuche auch auf die Reibung in Pfannen aus, indem er eine Rolle

mit wohl abgerundeten Zapfen in Pfannen von verſchiedenem Materiale ſich drehen ließ, und die Größe der Reibung beſtimmte.

330. Die Reſultate dieſer Verſuche ſind folgende: 1) Die Größe der Reibung iſt, bei übrigens gleichen Umſtänden, dem Drucke proportionirt, der Körper mag ruhen oder ſich mit was immer für einer Geſchwindigkeit bewegen; nur bei faſerigen Körpern nimmt die Reibung ab, wenn der Druck wächſt. 2) Sie wächſt mit der Zeit der Berührung, doch ſo, daß ſie nach einer gewiſſen Zeit den größten Werth erlangt. Dieſes geſchieht bei Metall auf Metall faſt augenblicklich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall erſt nach Tagen. 3) Sie iſt deſto größer, je rauher die ſich berührenden Flächen ſind; doch kann ſie auch eine zu ſtrenge Politur vermehren Bei mäßiger Glätte iſt der Reibungsexponent $^1/_3$. 4) Bei harten Körpern iſt die Reibung von der Größe der Berührungsfläche unabhängig, bei weichen und faſerigen wächſt ſie mit der Berührungsfläche. 5) Beim Uebergange aus der Ruhe in Bewegung beträgt die Reibung mehr als während der Bewegung. 6) Die Geſchwindigkeit hat, wenn ſie nicht ſehr groß iſt, keinen bedeutenden Einfluß auf die Reibung, ſo lange ſich Holzarten oder Metalle ohne Schmiere auf einander reiben; bei Körpern verſchiedener Art, z. B. bei Holz auf Metall, wächſt die Reibung beinahe in einer geometriſchen Progreſſion, wenn die Geſchwindigkeiten in einer arithmetiſchen zunehmen. 7) Gleichartige Körper reiben ſich gewöhnlich ſtärker als ungleichartige, aber auch unter ungleichartigen findet ein bedeutender Unterſchied Statt. So reibt ſich z. B. Stahl am wenigſten auf Zink, mehr auf Meſſing, noch mehr auf Blei oder Kupfer, am meiſten auf Zinn. 8) Cylindriſche und runde Körper reiben ſich weniger als ebene, und würden es noch weniger thun, wenn ſie nicht platt gedrückt würden. 9) Holz reibt ſich auf Holz minder, wenn ſich die Faſern durchkreuzen, als wenn ſie parallel laufen. 10) Feuchtigkeit vermehrt die Reibung der Hölzer, Hitze die der Metalle. 11) Schmiermittel vermindern die Reibung, wenn ſie zweckmäßig angewendet und oft genug erneuert werden. Für verſchiedene Körper braucht man auch verſchiedene Schmiermittel, um die Reibung auf den kleinſten Werth zu bringen.

331. Aus dieſen Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, welche uns zu Gebote ſtehen, um die Reibung zu vermindern. Dieſe ſind: Glätten der Oberflächen, Verminderung des Gewichtes des bewegten Körpers ſo viel es andere Rückſichten zulaſſen, Vermeidung der Gleichartigkeit der Körper, die ſich reiben, Umänderung der gleitenden Bewegung in eine rollende und zweckmäßige Anwendung der Schmiermittel. Hierauf beruhen alle Vorrichtungen, die zur Verminderung der Reibung angewendet werden, z. B. der Gebrauch der Walzen, der Reibungsrollen, der G a r n e t'ſchen Räder u. dgl. m.

Die Reibung, von einer Seite ein natürliches Uebel, iſt von der anderen zu verſchiedenen Zwecken nützlich. Mittelſt der Reibung ſtehen Körper ſelbſt auf einer ſchiefen Ebene feſt, es laſſen ſich Körper zu-

ſammennageln, zuſammenſchrauben, ſchnelle Bewegungen vermindern, wie dieſes z. B. beim gewöhnlichen Anheften der Schiffe ohne Anker, beim Hinablaſſen ſchwerer Fäſſer in Keller geſchieht. Ueber die Reibung ſiehe: Architectura hydraulica von Prony (aus dem Franzöſ. von Langsdorf). Frankf. am M 1795. 1 Bd. S. 504 u. f. Metternich über die Reibung Frankf. a. M. 1789. Bevan in den Jahrb. des k k. polyt. Inſtitutes. Bd. 17.

332. Die Größe der Widerſtandes, den die gewöhnlichen Mittel, die Luft, das Waſſer ꝛc. gegen darin ſich bewegende Körper ausüben, hat man theils durch Verſuche, theils durch Rechnung auszumitteln geſucht. Mit letzterer haben ſich die größten Mathematiker beſchäftiget, ohne jedoch bisher den Gegenſtand völlig erledigt zu haben. Offenbar hängt dieſer Widerſtand von der Größe, Geſtalt und Geſchwindigkeit des bewegten Körpers und von der Dichte und dem Grade der Flüſſigkeit des Mittels ab; allein die Formeln, durch welche man das Geſetz dieſer Abhängigkeit ausgedrückt hat, ſtimmen mit der Erfahrung nicht genügend überein. So ſetzt man gewöhnlich, bei übrigens gleichen Umſtänden, den Widerſtand des Mittels dem Quadrate der Geſchwindigkeit des bewegten Körpers proportional, aber die Erfahrung harmonirt mit dieſem Geſetze nur bei mittleren Geſchwindigkeiten, bei größeren und bei ſehr kleinen weicht ſie ſehr davon ab, und zwar im erſteren Falle beſonders deßhalb, weil die verdrängte Flüſſigkeit auch nur mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit den vom bewegten Körper verlaſſenen Platz wieder einnimmt und daher hinter einer ſehr ſchnell bewegten Maſſe gleichſam ein leerer Raum entſteht. Dieſes iſt bei der Bewegung in der Luft der Fall, ſobald die Geſchwindigkeit des bewegten Körpers etwa 800 Fuß überſteigt.

In dem Widerſtande des Mittels liegt der Grund, warum man Schiffe vorne nach der Richtung des Kieles enger werden läßt; warum ein Schnellſegler ganz anders eingerichtet ſeyn muß, als ein Schiff, das viel zu faſſen beſtimmt iſt; warum ein Schiff nach der Länge ſo leicht, nach der Breite ſo ſchwer beweglich iſt. Auch die Wirkung des Steuerruders, die Art Bewegung eines Schiffes unter der Einwirkung des Windes beruht darauf. Einem Vogel kommt ſein äußerer Bau beim Fliegen, einem Fiſche eben derſelbe beim Schwimmen ſehr zu Statten; ein ſchnell vorwärts ſchreitender Menſch ſucht ſich, beſonders wenn er gegen den Wind geht, durch Vorwärtsneigen des Kopfes dieſes Vortheiles einigermaßen theilhaftig zu machen. Von Nutzen iſt dieſer Widerſtand beim Fliegen, Schwimmen, beim Gebrauche eines Fallſchirmes. Eine vortreffliche Sammlung von Unterſuchungen über dieſen Artikel findet man in: Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano, 1817. p. 221 e. s. Euleri scientia navalis. Petr. 1794. Tom. I. p. 201 e. s. Experimentalunterſuchungen über die Geſetze des Widerſtandes der Flüſſigkeiten von Duchemin. Aus dem Franzöſiſchen von Schnuſe. Braunſchweig 1844.

Viertes Kapitel.

Bewegungsgeſetze ſchwerer feſter Körper.

333. Unter allen Naturkräften iſt die Schwere die wichtigſte und die durch ſie hervorgebrachten Bewegungen haben für den Phyſiker das größte Intereſſe. Die einfachſte dynamiſche Wirkung dieſer Naturkraft iſt der freie Fall der Körper. Sie nimmt zwar in einerlei Verticalrichtung von oben nach unten hin bis zur Erdoberfläche an Intenſität zu; doch iſt dieſe Aenderung in Diſtanzen, welche gegen den Erdhalbmeſſer ſehr klein ſind, unmerklich und man kann bei der Betrachtung des freien Falles der Körper von geringen Höhen herab füglich annehmen, daß die Schwere conſtant wirke. Sonach erſcheint der freie Fall der Körper im leeren Raume als das Reſultat der Wirkung einer conſtanten continuirlichen Kraft und muß demnach als gleichförmig beſchleunigte Bewegung erſcheinen. Die Geſetze dieſes Falles werden demnach durch die in 311 entwickelten Formeln ausgedrückt, wenn man für die Größe g die in der erſten Secunde erlangte Geſchwindigkeit ſetzt.

Für Wien hat g den Werth von 31.03 F.; demnach erhalten die Formeln für den freien Fall im leeren Raume für dieſen Ort folgende beſtimmte Werthe: $c = 31.03\ t$; $s = 15.515\ t^2$; $t = 0.054 \sqrt{s}$; $c = 7.94 \sqrt{s}$.

334. Die Richtigkeit der Vorausſetzung, daß dem freien Falle der Körper eine mit conſtanter Intenſität wirkende Kraft zum Grunde gelegt werden darf, beruht auf der Uebereinſtimmung der Rechnungsreſultate mit der Erfahrung. Verſuche, welche dieſes beſtätigen, laſſen ſich wegen der zu bedeutenden Höhe, die dazu erfordert würde, und wegen des Widerſtandes der Luft, nicht wohl beim freien Falle machen; aber es gibt eine Vorrichtung, die unter dem Namen der Atwood'ſchen Fallmaſchine bekannt iſt, mittelſt welcher man die Fallhöhe in einer Secunde beliebig vermindern und aus den Reſultaten der Verſuche, die ſich mit ihr anſtellen laſſen, doch auf die Geſetze beim freien Falle ſchließen kann. Dieſe Vorrichtung beſteht in ihrer einfachſten Geſtalt aus einem fixen, um ſeine Axe äußerſt leicht beweglichen Rade a (Fig. 114), über deſſen Umfang eine feine Schnur b geht, welche am Ende Schälchen zur Aufnahme beſtimmter Gewichte hat. Das Rad iſt an einer verticalen, in Zolle eingetheilten Säule c befeſtiget, an der man den Weg, den eine Schale zurücklegt, meſſen und mit der Zeit der Bewegung vergleichen kann. Man legt auf die Schalen gleiche Gewichte, und dann auf diejenige, deren Bewegung nach abwärts man beobachten will, noch ein Gewichtchen, welches eben hinreicht, die Reibung an der Axe des Rades zu überwinden, ſo daß dieſes bei der geringſten Vermehrung des Gewichtes in Bewegung geräth. Gibt man nun ein Gewicht zu, ſo ſinkt

die Schale, aber mit geringerer Acceleration als wenn ſie frei fiele; denn die auf das Zuleggewicht wirkende Schwerkraft hat jetzt nicht bloß die Maſſe dieſes Gewichtes allein, ſondern auch noch die Maſſen der übrigen Gewichte nebſt dem Rade in Bewegung zu ſetzen. Man kann das Zuleggewicht jederzeit ſo wählen, daß die ſinkende Schale in der erſten Secunde einen beſtimmten Weg, z. B. 1 Zoll zurücklegt, dann wird ſie am Ende der zweiten Secunde 4 Zoll, am Ende der dritten 9 Zoll u. ſ. w. zurückgelegt haben. Läßt man aber die Schale ihr Zuleggewicht während des Sinkens an einem Ringe, durch den ſie geht, abſetzen, zu welchem Ende man dieſes Gewicht in länglicher Form nimmt, damit es auf dem Ringe liegen bleibe; ſo geräth die Schale von dem Augenblicke an in eine gleichförmige Bewegung, woran ſich die Geſchwindigkeit, die ſie bis dahin erlangt hat, zu erkennen gibt.

Iſt M die Geſammtmaſſe des Rades, der Schnur, der Schalen, ihrer gleichen Belaſtung und des Zuleggewichtes zur Ueberwindung der Reibung; x die Maſſe des Zuleggewichtes, das die Bewegung hervorbringt; ferner g die Beſchleunigung der Schwere im freien Falle, und g′ jene an der Fallmaſchine: ſo beſteht, weil die bewegende Kraft gx der Maſſe M + x die Acceleration g′, d. h. die bewegende Kraft (M+x) g′ ertheilt, die Gleichung $gx=(M+x)g'$ woraus $(g-g')x=Mg'$ und $x=\frac{Mg'}{g-g'}$ folgt. Statt M kann man das Geſammtgewicht der genannten Maſſen ſetzen, weil die Gewichte den Maſſen proportionirt ſind, und dann erhält man auch x in Gewicht ausgedrückt.

Will man, daß jede Schale in der erſten Secunde ſtatt 15½ Fuß oder 186 Zoll, wie es bei dem freien Falle im luftleeren Raume in Wien, wo g = 31.03 Fuß beträgt, geſchehen würde, an der Fallmaſchine nur 1 Zoll zurücklege; ſo ſetze man $\frac{1}{2}g=186$, $\frac{1}{2}g'=1$ und man findet $x=\frac{M}{185}$. Wegen der drehenden Bewegung des Rades iſt dieſe Rechnung nur eine angenäherte, eigentlich ſollte man nur die halbe Maſſe des Rades in Rechnung bringen.

335. In den in der Natur vorkommenden Fällen bewegen ſich frei fallende Körper in einem widerſtehenden Mittel und ſind darum nicht gleichförmig beſchleuniget. In einem Mittel von gleicher Dichte nähert ſich der freie Fall der gleichförmigen Bewegung immer mehr, ohne ſie je zu erreichen. In Mitteln von zunehmender Dichte, z. B. in der atm. Luft, kann die Bewegung gleichförmig, ja wohl gar verzögert werden, wie wir dieſes an Papierſchnitzchen oder Federn ſehen. Dem Widerſtande der Luft muß es auch zugeſchrieben werden, daß nicht alle Körper von derſelben Höhe gleich ſchnell zur Erde herabfallen; der dichtere kann den Widerſtand leichter überwinden als der minder dichte, weil er unter demſelben Volum, mithin bei demſelben Widerſtande des Mittels, mehr bewegende Kraft hat als der minder dichte. Indeß wird ſelbſt der dichteſte Körper, wenn man ihn klein zertheilt hat, nicht mehr den Widerſtand überwältigen können, weil die Oberfläche eines Körpers, von welcher der Widerſtand mitunter abhängt, in einem geringern Verhältniſſe abnimmt, als die Maſſe, durch welche

er überwältiget werden ſoll. Hierauf beruht das Schlemmen. Uebrigens muß ein ſchwerer Körper in einem ſchweren Mittel ſchon unabhängig von dem Widerſtande deſſelben langſamer fallen, weil er in demſelben einen Theil ſeiner Schwere verliert (211 und 265).

336. Befindet ſich ein ſchwerer Körper auf einer ſchiefen Ebene, ſo wird durch den Widerſtand dieſer ein beſtimmter Theil der Schwere aufgehoben und die Bewegung abwärts erfolgt nur noch durch einen Theil derſelben. Da dieſer Theil conſtant iſt und continuirlich wirkt, ſo muß auch daraus eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung hervorgehen, vorausgeſetzt, daß von allen Hinderniſſen der Bewegung abſtrahirt wird. Stellt z. B. AC (Fig. 115) den Durchſchnitt einer ſchiefen Ebene mit einer auf ihr ſenkrecht ſtehenden, verticalen Ebene vor, iſt AB ihre Höhe, AC ihre Länge, BC ihre Baſis, $ACB = a$ ihr Erhöhungswinkel und endlich G der Schwerpunct eines Körpers, Gx die Richtung der Schwere, GD ihre Größe $= g$; ſo kann man GD in die auf AC ſenkrechte GE und in die mit ihr parallele GF zerlegen, wovon erſtere durch den Widerſtand der ſchiefen Ebene aufgehoben wird, während die letztere eine Bewegung längs derſelben hervorbringt und relative Schwere heißt. Da Gx auf BC, und FD auf AC ſenkrecht ſteht; ſo iſt $FDG = ACB = a$ und daher $GF = GD \, . \, sin \, a = g \, . \, sin \, a$, alſo eine Kraft, die für einerlei Werth von a beſtändig iſt, wenn g unverändert bleibt.

Mittelſt der ſchiefen Ebene hat am Anfange des 17. Jahrhunderts Galiläi zuerſt die Geſetze des Falls ſchwerer Körper in der Erfahrung dargethan.

337. Setzt man in den Formeln für die gleichförmig beſchleunigte Bewegung $g \, sin \, a$ ſtatt g und verſteht unter g den doppelten Fallraum in der erſten Secunde beim freien Falle; ſo gelten die ſo entſtehenden Formeln für den Fall über eine ſchiefe Ebene. Man hat deßhalb, wenn s′, t′, c′ dasſelbe für die ſchiefe Ebene ſind, was s, t, c für den freien Fall bedeuten:

$$c' = g t' . sin \, a \quad . \quad (1), \qquad s' = \frac{g t'^2 . sin \, a}{2} \quad (2)$$

$$t' = \sqrt{\frac{2 s'}{g . sin \, a}} \quad . \quad (3). \qquad c' = \sqrt{2 g s' . sin \, a} \quad (4).$$

338. Wenn ein Körper auf der ſchiefen Ebene (Fig. 116) von A bis D gekommen iſt und die Frage entſteht, wie weit er in derſelben Zeit im freien Falle gekommen wäre; ſo errichte man im Puncte D auf AC die ſenkrechte DE, und man hat AE als den in Frage ſtehenden Fallraum. Denn ſetzt man $ACB = a$ und nennt x den geſuchten Weg; ſo wird $AD = \frac{g t^2}{2} . sin \, a$ und $x = \frac{g t^2}{2}$, d. h. $AD = x \, . \, sin \, a$ oder $\frac{AD}{sin \, a} = x$. Aber wegen $EAD = BAC$ und $ADE = ABC$ iſt auch $AED = a$, und daher $\frac{AB}{sin \, a} = AE$, mithin auch $x = AE$.

339. Wendet man dieſen Satz auf den verticalen Durchmeſſer AB (Fig. 117) eines Kreiſes und deſſen Sehnen AC oder BC an; ſo findet man, daß AB, AC und CB gleichzeitige Wege ſind. Daß dieſes von AB und AC gilt, zeigt ſchon der rechte Winkel bei C, aber um es auch für AB und CB einzuſehen, ziehe man BD ſenkrecht auf CB, ferner CD vertical, und es ſind CB und CD gleichzeitige Wege. Da aber CD = AB, ſo müſſen auch AB und CB gleichzeitige Wege ſeyn. Es iſt klar, daß alle von A und B aus gezogenen Sehnen unter einander gleichzeitig ſeyn werden, weil jede einzelne mit AB gleichzeitig iſt. Da durch Drehung des Kreiſes um einen Durchmeſſer eine Kugel beſchrieben wird; ſo ſieht man, daß alle Sehnen, welche vom höchſten Puncte einer Kugel ausgehen oder im tiefſten Puncte derſelben zuſammentreffen, gleichzeitige Wege ſind.

340. Ein Körper erlangt dieſelbe Geſchwindigkeit, er mag die Länge AC (Fig. 116) einer ſchiefen Ebene oder ihre Höhe AB zurückgelegt haben; denn es iſt

$$c = \sqrt{2g.AB},\quad c' = \sqrt{2g.AC.\mathit{sin}\ a},$$

aber $AC.\mathit{sin}\,a = AB$, mithin $c = c'$. Eine Folge dieſes Satzes iſt, daß ein Körper beim Fall durch zwei ſchiefe Ebenen von verſchiedenen Neigungswinkeln aber gleichen Höhen, wie z. B. durch AB und AC (Fig. 118) eine gleiche Geſchwindigkeit erlangt.

341. Sind AB und BC (Fig. 119) zwei ſchiefe Ebenen, die unter dem Winkel ABC zuſammenſtoßen, ſo erleidet ein Körper der ſich darauf bewegt, in B einen Verluſt an Geſchwindigkeit; denn er ſucht mit der Geſchwindigkeit, mit der er in B anlangt, nach BD fortzugehen, wird aber von dieſer Richtung in B durch die Bahn BC abgelenkt. Sein Verluſt an Geſchwindigkeit wird ſo gefunden, wie dieſes in 315 mit einem ſich um eine Axe drehenden Körper geſchehen iſt; derſelbe hängt wie dort von dem Winkel ab, welchen die zweiten ſchiefe Ebene mit der Verlängerung der erſten macht und wird verſchwindend klein, wenn dieſer Winkel unendlich klein iſt. Gleitet daher ein Körper über eine ſtetig krumme Bahn herab, ſo langt er an ihrem Ende mit derſelben Geſchwindigkeit an, als wenn er im freien Falle die ganze Höhe der Bahn zurückgelegt hätte.

342. Die wirkliche Bewegung eines ſchweren Körpers über eine ſchiefe Ebene kann ſich weniger als die beim freien Fall einer gleichförmig beſchleunigten nähern, weil hier zum Widerſtande des Mittels noch die Reibung auf der Unterlage kommt. Der Widerſtand des Mittels iſt zwar wegen der geringeren Geſchwindigkeit des fallenden Körpers geringer als beim freien Fall, aber die Reibung nimmt in den meiſten Fällen einen bedeutenden Theil der Kraft in Anſpruch.

343. Bisher wurden die Fälle betrachtet, wo ſich ein Körper auf einer Unterlage von beſtimmter Form bewegt, durch welche ihm der Weg vorgeſchrieben iſt, den er zu nehmen hat. Aber die Geſetze der Bewegung, die ein Körper in dieſen Fällen befolgen muß, gelten

auch, wenn man ihn auf eine andere Weiſe, z. B. durch ein von oben angebrachtes Hinderniß, an einen ſolchen Weg bindet. So muß ſich ein Körper, der an einem Faden aufgehängt iſt, um den Aufhängepunct nach denſelben Geſetzen bewegen, als wenn er ſich in einer kreisförmigen Rinne befände. Ein Körper, der um eine nicht durch den Schwerpunct gehende und nicht verticale Axe bewegt werden kann, heißt überhaupt ein Pendel, und zwar ein phyſiſches oder zuſammengeſetztes. Denkt man ſich einen ſchweren Punct B (Fig. 120) an einer nicht ſchweren, ja ſelbſt nicht einmal trägen geraden Linie A B, die um A gedreht werden kann; ſo hat man einen Begriff von einem mathematiſchen oder einfachen Pendel. Man kann aber auch eine kleine Kugel an einem feinen Faden, deſſeu Länge den Durchmeſſer der Kugel bedeutend übertrifft, ohne großen Fehler als einfaches Pendel anſehen.

344. Wird das einfache Pendel A B aus ſeiner verticalen Lage A B nach A C gebracht und da ſich ſelbſt überlaſſen; ſo wird es durch die Schwere nach B hingetrieben und beſchreibt den mit A B in derſelben verticalen Ebene liegenden Bogen C B. Um die Kraft zu finden, welche in jedem Augenblicke auf den ſchweren Punct wirkt, ſey Cx die Richtung der Schwerkraft, $CE = g$ ihre Beſchleunigung, α der Erhöhungs- oder Elongationswinkel C A B, und man zerlege C E in die auf A C ſenkrechte C F und die mit ihr parallele C D; ſo wird letztere durch den Widerſtand der Linie C A aufgehoben, und zur Bewegung des Pendels bleibt nur mehr $CF = CE \,.\, sin\, CEF = g \,.\, sin\, \alpha$, weil $CEF = ECD = CAB = \alpha$ iſt. Da dieſe Kraft für einerlei Werth von g vom $sin\, \alpha$ abhängt, der immer kleiner wird, ſo wie ſich das Pendel der Verticalen A B nähert; ſo iſt die Bewegung von C bis B eine ungleichförmig beſchleunigte. In B hat das Pendel die größte Geſchwindigkeit, es muß ſich daher vermög der Trägheit weiter bewegen, und zwar wegen des Widerſtandes der Linie A B im Bogen B H und mit ungleichförmig verzögerter Bewegung, weil die entgegen wirkende Schwere jetzt die Geſchwindigkeit wieder in umgekehrter Ordnung ſo vermindert, wie ſie ſelbe bei dem Herabgehen des Pendels durch den Bogen C B vermehrt hat, weßwegen auch offenbar $BH = CB$ ſeyn muß. In H tritt wieder derſelbe Fall ein, welcher in C Statt hatte, das Pendel fällt nach B herab, erhebt ſich wieder nach C, und würde ſo ſeine Schwingungen ohne Unterlaß fortſetzen, wenn keine Hinderniſſe dieſe Bewegung ſtörten. Man nennt die Bewegung vom höchſten Puncte der Bahn C bis zum höchſten H auf der anderen Seite der Verticalen A B eine Schwingung oder Oscillation.

345. Zur näheren Kenntniß der ſchwingenden Bewegung eines Pendels iſt es nöthig, die Geſchwindigkeit zu beſtimmen, die es in irgend einem Puncte der Bahn beſitzt. Es ſey das Pendel A B von C nach G gekommen und man ſuche ſeine Geſchwindigkeit v im Puncte G. Zu dieſem Ende ziehe man von C und G die auf A B ſenkrechten C H und G K und es ſtellt H K die Höhe des zurückgelegten Bahnſtückes

CG vor. In G hat nun das Pendel offenbar dieſelbe Geſchwindigkeit, als wäre der ſchwere Punct von H nach K frei herabgefallen. Demnach iſt $v=\sqrt{2g.HK}$. Bezeichnet man die Länge des Pendels AB mit l, den Winkel CAB wie vorher mit α, den Winkel CAG mit β; ſo erhält man: $AK=AC\ \cos.\ GAB=AC\ \cos.(CAB-CAG)$ $=l\ \cos.(\alpha-\beta)$; $AH=AC\ \cos.\ CAB=l\ \cos.\ \alpha$, mithin HK $=AK-AH=l\ [\cos.(\alpha-\beta)-\cos.\ \alpha]$ und daher

$$v=\sqrt{2gl[\cos.(\alpha-\beta)-\cos.\ \alpha]}. \qquad (1)$$

Hieraus ſieht man, daß $v=o$ iſt für $\beta=o$ und $\beta=-\alpha$, daß mithin das von C ausgehende Pendel, wenn es auf einer Seite der Verticalen den Bogen CB beſchreibt, auf der andern Seite derſelben nur einen eben ſo großen beſchreiben kann. Für $\beta=\alpha$ erlangt v den größern Werth $=\sqrt{2gl(1-\cos.\alpha)}$ und es iſt die Bewegung von C und H gegen B beſchleuniget, von B gegen C oder H verzögert ꝛc. ꝛc.

346. Die Formel (1) läßt ſich noch weiters umſtalten, wenn man voraus ſetzt, daß der Ausſchlagwinkel ſehr klein iſt, wie dieſes bei Pendeln meiſtens Statt findet. Es iſt nämlich $\cos.(\alpha-\beta)\ \ \cos.\ \alpha$ $=2\sin\ \frac{1}{2}(2\alpha-\beta)\sin\ \frac{1}{2}\beta$ und, wenn man in dem angenommenen Falle für den Sinus den Bogen ſetzt: $\cos.(\alpha-\beta)-\cos.\ \alpha$ $=\frac{1}{2}(2\alpha-\beta)\beta$. Für dieſe Vorausſetzung iſt nun

$$v=\sqrt{gl(2\alpha-\beta)\beta}. \qquad (2),$$

und in der verticalen Lage des Pendels, wo $\alpha=\beta$ iſt

$$v=\alpha\sqrt{gl}. \qquad (3).$$

347. Die Bahn eines Pendels weicht in der vorher gemachten Vorausſetzung, daß der Schwingungsbogen unendlich klein ſey, ſo wenig von einer geraden Linie ab, daß man ſie füglich für eine ſolche anſehen und ſich demnach die Schwingung des Pendels als Oscillation eines Punctes in einer geraden Linie denken kann. Iſt BB′ (Fig. 121) dieſe Bahn, A ihr Halbirungspunct und der Punct M ſo gewählt, daß man hat $BM:BA=\beta:\alpha$, ſo iſt wegen $AB=\alpha l$ auch $BM=l\beta$, und der in BB′ oscillirende Punct muß in M dieſelbe Geſchwindigkeit haben, wie das Pendel in G (Fig. 121) nämlich $v=\sqrt{gl(2\alpha-\beta)\beta}$. Man kann dieſe Bewegung leicht vergleichen mit der eines in dem Kreiſe, deſſen Durchmeſſer BB′ iſt, gleichförmig bewegten Punctes. Zieht man nämlich die Ordinate MN, ſo iſt $MN=\sqrt{BM.MB'}$ oder weil $BM=\beta l$, $MB'=BB'-BM$ $=2\alpha l-\beta l$ iſt, $MN=\sqrt{l(2\alpha-\beta)\beta}$. Iſt nun die Bewegung im Kreiſe von der Art, daß die nach der Richtung der Tangente entfallende Geſchwindigkeit $=\alpha\sqrt{gl}$ iſt, ſo befolgt die mit BB′ parallele Componente dasſelbe Geſetz, wie der in BB′ oscillirende Punct. Denn iſt NO die Geſchwindigkeit nach der Richtung der Tangente $=\alpha\sqrt{gl}$, NP die mit BB′ parallele Componente derſelben, und man zieht AN, ſo hat man offenbar $MN:AN=PN:NO$. Setzt

man für NO, AN und MN die vorher beſtimmten Werthe, ſo hat man $PN = \sqrt{gl}(2\alpha - \beta)\beta. = v$. Beginnt alſo das Pendel oder der von B nach M oscillirende Punct ſeine Bewegung gleichzeitig mit dem Beweglichen im Kreiſe von B aus, ſo begleiten ſie beide beſtändig an den Endpuncten die Coordinate MN und langen demnach auch zugleich in B′ an.

348. Dem Vorhergehenden zu Folge iſt die Zeit einer Schwingung des Pendels in der Vorausſetzung, daß der Ausſchlag klein iſt, mit jener einerlei, die der eben betrachtete im Kreiſe gleichförmig bewegte Körper braucht, um die halbe Peripherie zurückzulegen. Da nun der Halbmeſſer des Kreiſes $= \alpha l$, die Geſchwindigkeit des Körpers im Kreiſe $= \alpha\sqrt{gl}$ iſt, ſo hat man für beſagte Zeit $T = \frac{\alpha l \pi}{\alpha\sqrt{gl}} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, und dieſer Ausdruck gibt demnach auch die Dauer einer Pendelſchwingung.

Für einen größeren Ausſchlagwinkel α muß man, wie die höhere Analyſis lehrt, ſetzen:

$$T = \pi\sqrt{\left(1 + \frac{\alpha}{16}\right)\frac{l}{g}}.$$

Iſt $\frac{\alpha^2}{16}$ nicht ſo klein, daß man dieſen Bruch bei dem beabſichtigten Grade der Genauigkeit des Reſultates vernachläßigen darf, ſo muß man nach letzterer Formel rechnen.

Die Formel $T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ gilt in aller Strenge eigentlich nur für die Radlinie, d. i. für die Linie, welche ein Punct der Peripherie eines auf einer geraden Bahn fortrollenden Rades beſchreibt, bei welcher l dem Durchmeſſer des Erzeugungskreiſes gleichkommt, und T iſt in ihr ganz unabhängig von der Größe des Ausſchlagswinkels, weil dieſe Linie die merkwürdige Eigenſchaft hat, daß in einer nach ihr geformten Rinne kleine und große Bögen, wenn ſie ſich nur im Scheitelpuncte endigen, und zugleich die Axe der Radlinie vertical ſteht, in derſelben Zeit zurückgelegt werden.

349. Vergleicht man die Schwingungen zweier Pendel mit einander und ſind l, l′ ihre Längen, g, g′ die Acceleration der Schwere, welche, in ſo fern die Pendel ſich nicht am nämlichen Orte befinden, verſchieden ſeyn können, ferner T, T′ die Schwingungszeiten; ſo folgt aus

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ und } T' = \pi\sqrt{\frac{l'}{g'}},$$

$$T : T' = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g'}}.$$

An demſelben Orte iſt $g = g'$ alſo

$$T : T' = \sqrt{l} : \sqrt{l'} \text{ oder } T^2 : T'^2 = l : l'.$$

An verſchiedenen Orten iſt für ein und dasſelbe Pendel, wegen $l = l'$.

$$T : T' = \frac{1}{\sqrt{g}} : \frac{1}{\sqrt{g'}}, \text{ oder } T^2 : T'^2 = g' : g.$$

Sind n und n' die Anzahl der Schwingungen beider Pendel an verſchiedenen Orten binnen derſelben Zeit $\mathfrak{T}$, ſo iſt ſowohl $\mathfrak{T} = n\,T$ als auch $\mathfrak{T} = n'\,T'$, mithin $n\,T = n'\,T'$ oder $n : n' = T' : T$. Hieraus folgt

$$n : n' = \sqrt{\frac{l'}{g'}} : \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ oder } n^2 : n'^2 = \frac{g}{l} : \frac{g'}{l'},$$

für $l = l'$ wird $n^2 : n'^2 = g : g'$; für $g = g'$, $n^2 : n'^2 = l' : l$. Hat man ein Pendel von der Länge l, das in einer Secunde n Schwingungen macht, ſo findet man die Länge des Secundenpendels λ aus $n^2 : 1 = \lambda : l$ d. i. $\lambda = n^2\,l$.

Dieſe Geſetze der Pendelſchwingungen ſind wieder ein Geiſtesproduct des berühmten Galiläi. Schon in ſeinem achtzehnten Jahre machte ihn das Schwingen einer Lampe im Dome zu Piſa darauf aufmerkſam

350. Wiewohl dieſe Geſetze bloß für ein einfaches Pendel entwickelt ſind, ſo laſſen ſie ſich doch auf ein zuſammengeſetztes, um eine horizontale Axe ſchwingendes, anwenden. Denn ein ſolches zuſammengeſetztes Pendel kann als ein Syſtem einfacher, aber ungleich langer, in verticalen Kreiſen ſchwingender Pendel angeſehen werden; die Schwingungen der kürzeren werden durch die der längeren verzögert, jene der längeren durch die der kürzeren beſchleunigt, während die Puncte, welche in einer gewiſſen, zur Axe des Pendels parallelen, geraden Linie liegen, ſo ſchwingen, als ob ſie mit den übrigen Puncten des Pendels gar nicht verbunden wären. Dieſe Puncte heißt man Schwingungspuncte, die Entfernung eines jeden derſelben von der Axe gibt die Länge eines einfachen Pendels, deſſen Schwingungen dieſelbe Dauer haben, wie die des zuſammengeſetzten. Dieſe Länge iſt mithin diejenige, welche in Rechnung gebracht werden muß, wenn man die vorhin dargeſtellten Formeln auf ein zuſammengeſetztes Pendel anwenden will. Die Linie, in welcher die Schwingungspuncte liegen, heißt die Axe der Schwingungspuncte. Sie hat die merkwürdige Eigenſchaft, daß man ſie mit der Drehungsaxe verwechſeln kann, ſo daß ein Pendel an erſterer aufgehängt, nun die Schwingungspuncte in der vorigen Drehungsaxe hat. Sind an einer Pendelſtange in ungleichen Abſtänden von den Enden zwei Axen ſo angebracht, daß ſie Secunden ſchlägt, ſie mag um die eine oder die andere ſchwingen; ſo gibt die Entfernung beider Axen die Länge des einfachen Secundenpendels. Hierauf beruht die Einrichtung des Reverſionspendels. Daß dabei auch auf die Größe der Schwingungsbogen und auf die Gewichtsverminderung des Pendels in der Luft (265) Rückſicht genommen werden müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann die Länge des mit dem zuſammengeſetzten Pendel gleichzeitig ſchwingenden, einfachen Pendels beiläufig finden, wenn man ein einfaches Pendel neben dem zuſammengeſetzten aufhängt und es ſo lange verlängert oder verkürzt, bis beide gleichzeitig ſchwingen. Die Länge des einfachen Pendels gibt dann die Entfernung der Drehungs-

are von der Are der Schwingungspuncte. Genauer lehrt dieſes die Rechnung.

Es iſt A B (Fig. 122) eine ſteife Linie, in der man ſich die ſchweren Maſſen m, m', m'' ꝛc. zerſtreut angebracht denkt. Iſt dieſe um A beweglich, ſo kann ſie ein zuſammengeſetztes Pendel vorſtellen und wird ſich einem aus einer ſchweren Stange beſtehenden deſto mehr nähern, je mehrere Maſſen m, m' ꝛc. angenommen werden und je näher dieſe einander ſtehen. Iſt dieſes Pendel um den Winkel α aus der verticalen Lage gebracht, ſo wird die Maſſe m durch die Kraft $m g \sin . \alpha$ und eben ſo werden die Maſſen m', m'' ꝛc. durch die Kräfte $m' g \sin . \alpha$, $m'' g \sin . \alpha$ ꝛc. beſchleuniget, wobei g die Acceleration der Schwere bedeutet. Die Winkelgeſchwindigkeit, welche dieſem Pendel in einem unendlich kleinen Zeittheilchen vermöge aller dieſer Kräfte zuwächſt, iſt nach 314

$$\frac{(m\alpha + m'\alpha' + m''\alpha'' + \ldots)\, g \sin \alpha}{m\alpha^2 + m'\alpha'^2 + m''\alpha''^2 + \ldots}.$$

Einer in der Entfernung l von A befindlichen Maſſe μ würde in derſelben Zeit die Winkelgeſchwindigkeit $\frac{\mu l g \sin \alpha}{\mu l^2} = \frac{g \sin \alpha}{l}$ zuwachſen. Iſt dieſe Beſchleunigung jener der Maſſen m, m', m'' ꝛc. zuſammen genommen gleich, ſo oscillirt das einfache Pendel von der Länge l mit dem hier betrachteten zuſammengeſetzten gleichzeitig. Für dieſen Fall iſt hier

$$\frac{(m\alpha + m'\alpha' + m''\alpha'' + \ldots)\, g \sin \alpha}{m\alpha^2 + m'\alpha'^2 + m''\alpha'' + \ldots} = \frac{g \sin \alpha}{l}$$

mithin

$$l = \frac{m\alpha^2 + m'\alpha'^2 + m''\alpha''^2 + \ldots}{m\alpha + m'\alpha + m''\alpha'' + \ldots}$$

Für eine prismatiſche, gleichformig dichte Stange findet man

$$l = \tfrac{2}{3}\, AB.$$

Nimmt man den Schwingungspunct der Stange zum Aufhängungspuncte, ſo treten $l - a$, $l - a'$, $l - a''$ ꝛc. an die Stelle von a, a', a'' ꝛc. Heißt die nun Statt findende Länge des mit A B iſochron ſchwingenden einfachen Pendels λ, ſo wird

$$\lambda = \frac{m(l-a)^2 + m'(l-a') + m''(l-a'')^2 + \ldots}{m(l-a) + m'(l-a')^2 + m''(l-a'') + \ldots}$$

oder wenn man zur Abkürzung

$$m a^2 + m' a'^2 + m'' a''^2 + \ldots = S$$
$$m a + m' a' + m'' a'' + \ldots = T$$
$$m + m' + m'' + \ldots = M$$

ſetzt, $L = \frac{M l^2 - 2 T l + S}{M l - T}$. Aber es iſt $l = \frac{S}{T}$, folglich $S = T l$, daher hat man $L = \frac{M l^2 - T l}{M l - T} = l$, mithin iſt für ein ſolches Pendel die reciproke Beſchaffenheit des Aufhängungs- und Schwingungspunctes bewieſen.

351. Es iſt einleuchtend, daß ein Pendel ein wahres Mobile perpetuum ſeyn würde, wenn es keine Hinderniſſe der Bewegung gäbe; aber die Reibung der Are in der Pfanne und der Widerſtand des Mittels benehmen ihm dieſen Vorzug. Durch dieſe beiden Widerſtände wird nämlich mit jeder Schwingung der Ausſchlagbogen ver-

mindert und ſo nach und nach die ganze Bewegung aufgehoben; aber durch Anwendung ſcharf ſchneidiger Axen, ein bedeutendes Gewicht des Pendelkörpers und insbeſondere durch eine paſſende, am beſten linſenförmige Geſtalt deſſelben kann man die Oscillationen ohne weitere Beihülfe einer Kraft mehrere Stunden dauernd erhalten. Oft wünſcht man ſie ſogar ſchneller beendiget zu ſehen und läßt darum ein Pendel abſichtlich in der Luft oder in Waſſer oscilliren.

352. Die Gleichzeitigkeit aller Schwingungen eines Pendels, welches immer dieſelbe Länge beibehält, empfiehlt es zum bequemen und richtigen Zeitmeſſer. Man braucht es nur mit einem Räderwerke zu verbinden, welches bei jedem Schlage des Pendels um einen oder mehrere Zähne weiter rückt, und zugleich einen Zeiger mit ſich herumführt, der die Anzahl der geſchehenen Schwingungen anzeigt. Am ſicherſten nimmt man dazu ein Secundenpendel, aus deſſen Schwingungen man noch leicht $1/4$ Secunde abnehmen kann.

Bevor man dieſen Gebrauch des Pendels kannte, mußte man ſich auf eine ſehr ungenügende Art mit Waſſer- und Sanduhren behelfen, und aus der Menge des Waſſers oder Sandes, die aus einer Oeffnung eines weiten Gefäßes abgefloſſen, die Zeitdauer abnehmen. Man ſieht wohl auf den erſten Blick, wie unſicher dieſes Verfahren ſeyn mußte, und wie viel Dank wir dem berühmten Hyghens ſchulden, der zuerſt den Gebrauch des Pendels als Zeitmeſſer lehrte. Christ. Hugenii horologium oscillatorium. Paris 1673 — Auf der Theorie des Pendels beruht auch der muſikaliſche Zeitmeſſer (métronome); das Centrifugal-Pendel (ein Pendel, welches bei jeder Schwingung eine Kegelfläche beſchreibt), und deſſen Anwendung auf Tertienzähler

353. Wenn ein Pendel ein ganz genauer Zeitmeſſer ſeyn ſoll, ſo muß es von der ausdehnenden Kraft der Wärme ſo wenig als möglich afficirt werden. Deßhalb muß es ſtets in Orten aufbewahrt werden, wo der Temperaturwechſel nicht groß iſt, oder wo dieſer nicht ganz vermieden werden kann, zu Pendelſtangen ein Material gewählt werden, das ſich in der Wärme nur wenig ausdehnt, wie z. B. gut ausgetrocknetes, in Oehl geſottenes und dann überfirnißtes Holz. Am beſten ſetzt man Pendelſtangen aus mehreren Stücken ſo zuſammen, daß ſich die Wirkungen der Wärme gegenſeitig aufheben. Eine ſolche Vorrichtung heißt eine Compenſation.

Eine der einfachſten, ſinnreichſten Compenſationen iſt die ſogenannte Queckſilbercompenſation (Fig. 123). Die Stange AB wird durch die Wärme verlängert und das Queckſilber CED ſo ausgedehnt, daß es den Raum C′E′D′ einnimmt. Iſt nun die Queckſilbermenge richtig ausgemittelt, ſo ſenkt ſich der Schwingungspunct des Pendels durch die Ausdehnung der Stange um eben ſo viel, als er ſich wegen Ausdehnung des Queckſilbers erhebt, und die Lage deſſelben bleibt beſtändig. Denſelben Zweck ſucht man auch durch die ſogenannten Roſtpendel zu erreichen, deren eines Fig. 124 vorſtellt. AB iſt die Pendelſtange von Eiſen; von demſelben Material ſind auch die Stangen CD und cd, während EF und ef von Zink ſind. Wenn nun die Ausdehnung des Zinkes doppelt ſo groß iſt, als die des Eiſens; ſo wird, weil das Pendel in G aufgehängt iſt, die Senkung

des Schwingungspunctes durch die Ausdehnung der Pendelſtange A B und der Hilfsſtangen C D, c d durch das aufgehoben, um was er ſich bei der Ausdehnung der Zinkſtangen E F, e f hebt. Sehr ſinnreich iſt die von Martin angegebene Compenſation (Fig. 125). A B iſt die Pendelſtange, C D ein Querblech, in C und D mit kugelförmigen Maſſen verſehen, die ſich der A B durch Schrauben nähern oder davon entfernen laſſen. C D beſteht aus zwei wohl an einander geſchraubten Blechen, die ſich in der Wärme verſchieden ausdehnen, und wovon das mehr ausdehnbare unten iſt. Iſt nun C D bei irgend einer Temperatur gerade; ſo nimmt es bei größerer Wärme die Form C′ D′, bei geringerer die Form C″ D″ an, und erhält ſo den Schwingungspunct des Pendels, ungeachtet der Ausdehnung oder Zuſammenziehung der Pendelſtange A B, ſtets in derſelben Entfernung von der Axe.

354. Noch wichtiger wird dem Phyſiker das Pendel dadurch, daß es die Geſetze der irdiſchen Schwere, die in 129 aus einem allgemeinen Naturgeſetze abgeleitet wurden, unmittelbar darthut, und zwar wie folgt: 1) Die Richtung eines ruhigen Pendels zeigt die Richtung der Schwere an. 2) Die Gleichzeitigkeit kleiner Schwingungen bei Pendeln von gleicher Länge thut die ſtets unveränderliche Wirkſamkeit der Schwere an einem und demſelben Orte der Erde dar. 3) Der Umſtand, daß Pendel von dem mannigfaltigſten Materiale, wenn ſie nur gleich geſtaltet ſind, gleichzeitig ſchwingen, beweiſet, daß alle Materie gleich ſchwer ſey. 4) Setzt man in $T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, $T = 1$, ſo wird $g = \pi^2 l = 9.86960\ l$, mithin iſt auch die Beſchleunigung der Schwere durch die Länge des Secundenpendels gegeben. Für Wien iſt $l = 3.144021$ F. 5) Da ein Pendel am Gipfel eines Berges weniger Schwingungen macht, als am Fuße desſelben; ſo nimmt die Schwere ab, wenn man ſich vom Erdmittelpuncte entfernt. 6) Durch Pendelbeobachtungen hat man das ſchon von Newton aufgeſtellte Geſetz bewährt gefunden, daß die Schwere gegen den Aequator zu abnimmt, gegen die Pole aber wächſt; denn Richer fand (J. 1672), daß ein Pendel, welches in Paris Secunden ſchlug, auf der Inſel Cayenne verkürzt werden mußte, um auch dort Secunden zu ſchlagen. 7) Sogar die Gegenſeitigkeit der Anziehung unter allen Körpern der Erde wird aus den Erſcheinungen ſichtbar, die uns Pendel darbieten. Man bemerkt nämlich, daß ein Pendel in der Nähe großer Berge gegen dieſelben abgelenkt wird.

Schon Newton ließ Gold, Silber, Blei, Glas, Sand, Kochſalz, Waſſer, Weizen und Holz in gleichen Kreisbogen ſchwingen, und fand, daß ihre Schwingungen gleichzeitig ſeyn; neueſtens hat Beſſel ähnliche Verſuche mit der dieſem ausgezeichneten Forſcher eigenen Genauigkeit angeſtellt, und zwar mit Gold, Silber, Blei, Eiſen, Zink, Meſſing, Marmor, Thon, Quarz, Waſſer, Meteoreiſen und Meteorſtein, aber keine Andeutung erhalten, daß der Satz, alle Körper ſeyen gleich ſchwer, nicht wirklich das Naturgeſetz ſey. (Pogg. Ann. 25. 401.)

Bouguer und Condamine fanden, daß ein Pendel, welches am Ufer des Meeres in 24 Stunden 98770 Schwingungen machte, es zu Quito (9036 Fuß höher) nur auf 98740, auf dem Pichincha (14988

Fuß über dem Meere) gar nur auf 98720 Schwingungen brachte. Bouguer berechnete hieraus die Abnahme der Schwere und fand, daß ſie, wenn man ſie an der Meeresfläche = 1 ſetzt, zu Quito 0.999249, auf dem Pichincha 0.998816 ſey. — Man kann es als eine durch die Erfahrung beſtätigte Sache anſehen, daß die Länge l eines Secundenpendels unter der Breite φ in P. Linien ausgedrückt werden kann durch

$$l = 439.2066 + 2.3862 \sin \varphi^2,$$

wo 439.2066 die Länge des Sexageſimal-Secundenpendels unter dem Aequator in P. Linien bezeichnet. — Mehr über Pendelbewegungen liefert beſonders Kraft's Mechanik, überſetzt von Steingruber. Dresden, 1787, S. 260—350. Gehler's neues Wörterbuch: Pendel. Unterſuchungen über die Länge des einfachen Secundenpendels von F. W. Beſſel. Berlin 1828.

355. Oft wird ein Körper außer der Schwere noch von einer anderen Kraft afficirt und dadurch eine zuſammengeſetzte Bewegung hervorgebracht. Ein merkwürdiges Beiſpiel dieſer Art liefert der ſogenannte Wurf der Körper. Bekommt ein ſchwerer Körper durch eine momentan wirkende Kraft einen Stoß vertical aufwärts oder abwärts, und dadurch eine Geſchwindigkeit = h; ſo wird für den in der Zeit t zurückgelegten Weg s und die in derſelben Zeit erlangte Geſchwindigkeit c

$$s = ht \pm \frac{gt}{2}\,;\; c = h \pm gt,$$

wo das Zeichen + gilt, wenn der Stoß abwärts, hingegen — wenn er aufwärts wirkt. Es iſt klar, daß ein Körper im letzteren Falle ſo lange ſteigt, bis ſeine Geſchwindigkeit = o iſt. Heißt t′ die Zeit, welche er bis dahin braucht, s′ der zurückgelegte Weg, ſo iſt

$$h - gt' = o \text{ oder } \frac{h}{g} = t' \text{ und } s = ht' - \frac{gt'^2}{2} = \frac{h^2}{2g}.$$

356. Wird ein ſchwerer Körper horizontal geworfen, ſo beſchreibt er eine Parabel, deren Axe vertical ſteht. Denn wenn er vermöge der Wurfkraft in irgend einer beliebigen Zeit den Weg AB (Fig. 126), und in zwei ſolchen Zeiten den Weg AC, in drei Zeiten den Weg AD ꝛc. zurücklegen würde, falls ihn die Schwere nicht abwärts zöge, hingegen durch bloße Wirkung der Schwere in der erſten Zeit den Weg AE, in zwei Zeittheilen den Weg AF, in drei den Weg AG ꝛc.; ſo muß er ſich durch die gleichzeitige Wirkung beider Kräfte nach Verlauf der erſten Zeiteinheit vertical unter B in H, nach Verlauf der zweiten vertical unter C in I, nach Verlauf der dritten unter D in K u. ſ. w. befinden, ſo daß BH = AE, CI = AF, DK = AG iſt u. ſ. w.; er muß mithin den Weg AHIK zurücklegen. Es iſt aber.

$EH : FI : GK : ꝛc. = 1 : 2 : 3 : ꝛc.$, und daher
$EH^2 : FI^2 : GK^2 : ꝛc. = 1 : 4 : 9 ; ꝛc.$; ferner
$AE : AF : AG : ꝛc. = 1 : 4 : 9 : ꝛc.$; mithin
$EH^2 : FI^2 : GK^2 : ꝛc. = AE : AF : AG : ꝛc.$

eine Eigenſchaft, die nur einer Parabel zukommt, welche A G zur Axe hat.

357. Wird ein Körper ſchief gegen den Horizont geworfen, ſo daß die Richtung Ax (Fig. 127) des Wurfes mit einer Horizontallinie Ay, die mit Ax in derſelben Verticalebene liegt, einen ſpitzen Winkel xAy, die ſogenannte Elevation des Wurfes, bildet, und iſt AB die dem Körper nach der Richtung Ax ertheilte Bewegung; ſo läßt ſich dieſe in eine horizontale AC und in eine verticale AD zerlegen. Vermöge der erſten ſchreitet der Körper parallel mit Ay gleichförmig fort; letztere wird durch die Schwere bekämpft, daher nimmt der Körper parallel mit der verticalen Az eine gleichförmig verzögerte Bewegung an. Indem er dieſen beiden Bewegungen Folge leiſtet, beſchreibt er eine Bahn AO, deren höchſten Punct O er in dem Augenblicke erreicht, in welchem der verticale Theil ſeiner anfänglichen Bewegung durch den Einfluß der Schwere ganz vernichtet worden iſt, ſo daß ihm dort nur der horizontale Theil h dieſer Geſchwindigkeit zukommt. Da er ſich in O in demſelben Zuſtande befindet, als würde er horizontal, nach Ou geworfen, ſo beſchreibt er den abſteigenden Aſt OF einer Parabel, deren Axe die durch O gehende Verticallinie OK iſt (356). Aber offenbar ſtimmt der aufſteigende Aſt AO der Bahn mit OE überein, weil die Schwere den verticalen Theil der Bewegung des Körpers auf dieſelbe Weiſe abwärts beſchleunigt, wie ſie denſelben aufwärts verzögert hat, weßwegen die verticale Componente in gleichen Abſtänden von der OK einerlei Größe und nur entgegengeſetzte Richtungen beſitzt. Es iſt alſo auch hier die Bahn des geworfenen Körpers eine Parabel mit verticaler Axe

358. Die nächſten Elemente dieſes Wurfes laſſen ſich leicht auf analytiſchem Wege beſtimmen. Iſt α der Elevationswinkel, t die Zeit, in welcher der Körper durch den Wurf von A nach B käme, wenn er nicht zugleich ſchwer wäre, c die durch die Wurfkraft erzeugte Geſchwindigkeit, h ihre horizontale, v ihre verticale Componente; ſo hat man $AB = ct$, $h = ct \cos \alpha$, $v = ct \sin \alpha$, und den verticalen Abſtand des Beweglichen von der horizontalen $\alpha - ct \sin . \frac{gt^2}{2}$. Da dieſer Ausdruck $= o$ wird für $t = o$ und für $t = \frac{2c \sin \alpha}{g}$, ſo muß das Bewegliche den Horizont t, von dem es im Anfange der Bewegung ausgeht, nach der Zeit $\frac{2c \sin \alpha}{g}$ wieder treffen und letzterer Ausdruck gibt zugleich die Dauer der Bewegung. Setzt man in $ct \cos \alpha$ für t dieſen Werth, ſo erhält man den Werth der Linie $AF = \frac{2c^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{c^2}{g} \sin 2\alpha$, welche die Wurfweite genannt wird. Dieſer Ausdruck wird für einerlei Werth von C und g am größten, wenn $\alpha = 45°$ iſt und hat für $\alpha = 45° + \beta$ und $\alpha = 45° - \beta$ denſelben Werth. Den Ausdruck der größten Wurfshöhe erlangt man,

wenn man in der Formel $c\,t\,sin\,\alpha - \frac{g\,t^2}{2}$ für t den Werth $\frac{c}{g}\,sin\,\alpha$ ſetzt.

359. Die Elemente der Bewegung eines geworfenen Körpers werden durch den Widerſtand der Luft oder überhaupt des Mittels, worin die Bewegung erfolgt, bedeutend afficirt, Wurfsweite und Wurfshöhe ſind kleiner, als ſie die vorhergehenden Rechnungen angeben, die Wurfsweite iſt nicht bei einem Elevationswinkel von 45° am größten, wie die reine Theorie lehrt, ſondern bei einem viel kleineren (28—42°). Die beiden Aeſte der Parabel, welche das Bewegliche beim ſchiefen Wurfe beſchreibt, ſind in der Luft nicht mehr einander gleich, wie dieſes im leeren Raume der Fall wäre, ſondern es iſt der abſteigende Arm mehr gekrümmt als der aufſteigende; die ganze Bahn ſelbſt iſt nicht mehr eine Parabel, wie es die Theorie fordert.

In den meiſten und merkwürdigſten Fällen, wo Körper geworfen werden, gibt das Schießpulver die Wurfskraft ab. Indem ſich dieſes in einem engen Rohre eingeſchloſſen befindet und vor ſich den meiſt kugelförmigen Körper hat, der fortgetrieben werden ſoll, hinter ſich aber eine ſtarke Wand, wird es durch Entzündung in eine ſtark erhitzte Gas- und Dunſtmaſſe verwandelt und wirkt ſomit auf die Kugel, ſo lange ſich dieſelbe im Rohre befindet. Schließt dieſe nicht feſt an die Rohrwände an, ſo erhält ſie zugleich eine drehende Bewegung und wird durch die Seitenwirkung des Schießpulvers leicht aus der Verticalebene getrieben, in welcher ſich die Axe des Rohres befindet. Durch ſogenanntes Pflaſtern der Kugel, noch beſſer aber durch Anwendung eines gezogenen Laufes beugt man dieſer Abweichung vor. Bei den gewöhnlichen Flintenſchüſſen iſt die Geſchwindigkeit der Kugel ſo groß und das Ziel gewöhnlich ſo nahe, daß das Sinken der Kugel durch den Einfluß der Schwere nicht viel beträgt, auch darf beim Zielen darauf keine beſondere Rückſicht genommen werden, weil die Stellung des vorderen Abſehens gegen das hintere oder das Auge des Schützen ſchon ſo angeordnet iſt, daß die Viſirlinie mit der Axe des Rohres einen Winkel macht und man demnach unbemerkt dieſes Sinken in Rechnung bringt. Nur dichte Körper können ſelbſt bei ſtarker Ladung weit getrieben werden. Darum wendet man in der Regel Bleikugeln an; nur lange Röhre tragen weit. Man kann mittelſt einer einfachen Vorrichtung die Bahn eines geworfenen Körpers ſich graphiſch abbilden laſſen. (Peſchel in Pogg. Ann. 55. 316.)

360. Die bisher betrachteten Geſetze des Wurfes beruhen auf der Bedingung, daß innerhalb der Wurfweite die Richtungen der Schwere parallel bleiben. Offenbar iſt dieſes nur annäherungsweiſe wahr, weil die Schwere immer gegen den Centralpunct hinzieht, doch kann man ihre Richtungen für die uns zu Gebote ſtehenden Wurfkräfte bei irdiſchen Körpern immer ohne merklichen Fehler für einander parallel annehmen. Werden aber die Geſetze der Schwere auf die Himmelskörper übertragen, ſo kann von jener Vorausſetzung überhaupt nicht die Rede ſeyn und man hat es da mit ſogenannten Centralbewegungen zu thun. Wird nämlich ein völlig freier Körper von einer ununterbrochen nach demſelben Puncte wirkenden Kraft gezogen, während er durch eine andere, momentan wirkende Kraft eine ſeit-

wärts gehende Bewegung erhalten hat; ſo entſteht eine Centralbewegung. Die beiden wirkenden Kräfte heißt man Centralkräfte und zwar jene Centripetalkraft, den Punct, nach dem ſie zielt, den Centralpunct; dieſe hingegen Tangentialkraft.

361. Es wirke die Centripetalkraft auf einen Körper A (Fig. 128) nach AC, die Tangentialkraft nach Ax, und man nehme an, daß die Centripetalkraft nicht ununterbrochen wirke, ſondern daß eine Wirkung auf die andere in der Zeit τ folge, ferner daß das Bewegliche in der Zeit τ, in Folge des Impulſes der Tangentialkraft oder in ſo fern es bereits in Bewegung iſt, bloß wegen ſeiner Trägheit den Weg AB zurücklege, durch bloße Wirkung der Centripetalkraft aber den Weg AD, wobei nämlich AD gegen AB ſehr klein gedacht werden muß; ſo kommt es durch die Wirkung beider in derſelben Zeit nach E, wenn AE die Diagonale des Parallelogramms ABED iſt. Wenn hier keine fernere Wirkung der Centripetalkraft erfolgte, ſo würde das Bewegliche in der Geraden Ay fortgehen und in der Zeit τ wieder den Weg $EF = AE$ zurücklegen. Weil aber in E wieder die Wirkſamkeit der Centripetalkraft eintritt, vermög welcher das Bewegliche in τ den Weg EG beſchriebe, wenn es nicht ſchon in E eine Bewegung hätte; ſo muß es nach H kommen. Hier tritt wieder derſelbe Fall ein, wie in E, und ſo geht es weiter, ſo daß es klar genug iſt, der Weg des Körpers könne keine gerade Linie ſeyn, ſondern, bei der Vorausſetzung einer ſtoßweiſe erfolgenden Wirkung der Centripetalkraft, ein in der Ebene der Richtungen der Kräfte liegendes Polygon, das ſich aber einer continuirlich krummen Linie deſto mehr nähert, je kleiner τ iſt. Stellt man ſich τ unendlich klein vor, d. h. läßt man die Centripetalkraft ununterbrochen wirken, ſo wird der Weg wirklich eine krumme Linie. Die Richtungen Ax, Ey, Hz, ... nach welchen das Bewegliche fortſchreiten würde, wenn die Centripetalkraft bei der Ankunft deſſelben in A oder in E oder in H... plötzlich zu wirken aufhörte, erſcheinen hiebei als Tangenten der Bahn. Die Geſtalt dieſer hängt von der Stärke der Tangentialkraft, von der Stärke und dem Geſetze der Ab- und Zunahme der Centripetalkraft, und von der Lage des Mittelpunctes der Kräfte ab, kann aber nur durch Hilfe der höheren Analyſis ohne gar viele Umſchweife nachgewieſen werden.

Die höhere Analyſis lehrt, daß wenn die Stärke der Centripetalkraft dem Quadrate der Diſtanz des Beweglichen vom Centralpuncte verkehrt proportionirt iſt, die Bahn eine Kegelſchnittslinie ſey, wovon ein Brennpunct mit dem Centralpuncte zuſammen fällt. Die nähere Beſchaffenheit der Kegelſchnittslinie richtet ſich nach der Intenſität der Centralkraft, der anfänglichen Diſtanz des Beweglichen vom Centralpuncte und nach der Geſchwindigkeii, die ihm die Tangentialkraft ertheilt. Steht aber die Centralkraft mit jener Diſtanz in geradem Verhältniſſe, dann iſt die Bahn eine Ellipſe, die den Centralpunct zum Mittelpuncte hat.

362. Die Dreiecke ACE, EDH, Fig. 128, welche die Verbindungslinie des Centralpunctes mit dem Beweglichen in gleichen

Zeittheilchen durchläuft, haben gleiche Flächenräume. Denn zieht man CF, ſo ſind die Dreiecke ACE, ECF gleich, weil ſie auf gleichen Grundlinien ſtehen und einerlei Höhe haben; ferner ſind die Dreiecke ECF, ECH gleich, weil EC und FH parallel ſind, mithin ſind auch die Dreiecke ACE, ECH gleich. Da ſich dieſes von je zwei ſolchen benachbarten Dreiecken ſagen läßt, und ſonach je zwei Sectoren, welche der vom Centralpuncte zum Beweglichen gehende Radiusvector in gleichen Zeiten durchſtreicht, als Summen gleicher Mengen gleich großer Dreiecke betrachtet werden können; ſo ergibt ſich die Folgerung, daß bei einer durch Centralbewegung beſchriebenen Bahn der Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume durchwandert, oder was dasſelbe heißt, daß die von dem Radiusvector beſchriebenen Flächenräume den Zeiten, in welchen dieß geſchieht, proportionirt ſind.

Es beſteht alſo bei der Centralbewegung eine Art Gleichförmigkeit, nicht in Betreff der Wege, welche das Bewegliche zurücklegt, ſondern hinſichtlich der Flächenräume, welche der ihm entſprechende, vom Centralpuncte ausgehende Radiusvector durchſtreicht. Man nennt dieſe Eigenſchaft der Centralbewegung die **Erhaltung der Flächen.** Der nachfolgende Lehrſatz zeigt, daß dieſelbe der Centralbewegung ausſchließend zukommt.

363. Läßt ſich bei der Bewegung eines freien Körpers in einer krummen Bahn ein Punct angeben von der Art, daß der von ihm zum Körper gehende Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Sectoren durchläuft; ſo iſt, vorausgeſetzt daß die Bahn dem genannten Puncte ihre hohle Seite zukehrt, eine den Körper ſtets nach dieſem Puncte hinziehende Kraft vorhanden, mithin die Bewegung eine Centralbewegung. Denn es ſeyen AB, BD Fig. 129 zwei unendlich kleine, in unmittelbar auf einander folgenden gleichen Zeiten beſchriebene Stücke der Bahn des Beweglichen, wovon das zweite von der Richtung des erſten abweicht. Verlängert man AB bis E, ſo daß BE = AB wird, zieht man ED und macht BF der ED parallel und gleich; ſo zeigt BF die Richtung und Größe des Weges an, den das Bewegliche der Kraft gemäß, die es von ſeiner urſprünglichen Richtung ablenkte, binnen deſſelben Zeittheiles beſchrieben hätte, wenn es dieſer Kraft ausſchließend hätte folgen können. Iſt nun C ein Punct, bezüglich deſſen die Dreiecke ACB, BCD gleiche Flächen haben, ſo werden die Dreiecke BCD, BCE gleich ſeyn müſſen, weil die Dreiecke ACB, BCD gleich groß ſind, woraus folgt, daß BC und ED parallel laufen. Es kann alſo die BF, die gleichfalls der ED parallel iſt, keine andere Richtung haben, als eine ſolche, die durch den Punct C hindurchgeht.

Kehrt die krumme Bahn dem Puncte, auf den die vorgenannten Sectoren ſich beziehen, ihre convexe Seite zu, ſo findet zwiſchen ihm und dem Körper keine Anziehung, ſondern Abſtoßung Statt.

364. Bewegt ſich ein Körper in der krummen Linie AB (Fig. 130) vermög Centralkräften, ſo läßt ſich das Verhältniß ſeiner Geſchwin-

digkeiten in verſchiedenen Puncten A und B ſeiner Bahn folgendermaßen finden: Es komme das Bewegliche in einem Zeittheilchen, das für ſehr klein angenommen wird, von A nach a, und in derſelben Zeit von B nach b; ſo ſind Aa und Bb den Geſchwindigkeiten in A und B proportionirt. Zieht man nun nach dem Mittelpuncte C der Centralkräfte die Linien AC, aC und BC, bC, ſo ſind die Flächenräume der Dreiecke ACa, BCb gleich. Sind Ax und By Tangenten zu A und B, ferner CD auf Ax, CE auf By ſenkrecht; ſo wird der erſtere Flächenraum durch das Product $\frac{1}{2}$Aa.CD, der andere durch $\frac{1}{2}$Bb.CE ausgedrückt. Es iſt alſo Aa.CD=Bb.CE, mithin Aa:Bb=BE:CD, d. i. die Geſchwindigkeiten verhalten ſich verkehrt wie die Senkrechten, welche vom Mittelpuncte der Kräfte auf die Tangenten des Ortes des Beweglichen gezogen werden. Hieraus erſieht man ſchon, daß die Bewegung in einem Kreiſe, deſſen Mittelpunct zugleich jener der Centralkräfte iſt, gleichförmig, hingegen in einer Ellipſe, deren ein Brennpunct Mittelpunct der Centralkräfte iſt, theils beſchleunigt, theils verzögert ſeyn müſſe.

365. Geſchieht die Bewegung durch Centralkräfte in einem Kreiſe, ſo iſt AC=EC=HC (Fig. 128), alſo auch AE=EH, weil die Sectoren ACE, ECH einerlei Flächen haben, woraus wieder erhellet, daß die Bewegung gleichförmig ſeyn muß. Aber es iſt AE=EF=GH, mithin auch EH=GH. Es ſind alſo die Dreiecke GEH, CEH beide gleichſchenklig, und wegen des gemeinſchaftlichen Winkels an den Grundlinien, nämlich CEH, ähnlich. Hieraus folgt die Proportion EG : EH=EH : EC, welche $EG=\frac{EH^2}{EC}$ gibt. Hierdurch läßt ſich die Größe der Centripetalkraft bei der Bewegung in einem Kreiſe leicht finden. Nennt man nämlich die Geſchwindigkeit des Beweglichen in ſeiner Bahn, d. h. jene, mit welcher es die Wege AE, EH,... jeden während der Zeit τ durchläuft, c, ferner die Geſchwindigkeit, die ihm in Folge der Einwirkung der ſtoßweiſe thätigen Centralkraft im Puncte E zu Theil wird und vermöge welcher es für ſich allein binnen der Zeit τ den Weg EG zurücklegen würde γ, endlich den Halbmeſſer des Kreiſes EC=r; ſo iſt $EH=c\tau$, $EG=\gamma\tau$, mithin $\gamma\tau=\frac{c^2\tau^2}{r}$, woraus $\frac{\gamma}{\tau}=\frac{c^2}{r}$ folgt. Bezeichnet man durch G die Acceleration, welche die Centralkraft hervorbringen würde, wenn ſie eine Zeiteinheit hindurch mit der Stärke fortwirkte, die ſie im Puncte E hat, und ſieht man γ als die Geſchwindigkeit an, welche ſie während der Zeit τ, die als unendlich klein betrachtet werden kann, erzeugt; ſo hat man offenbar $G=\frac{\gamma}{\tau}$, alſo $G=\frac{c^2}{r}$. Die Größe der Centripetalkraft p wird durch das Product mG ausgedrückt, worin m die Maſſe des Beweglichen angibt, daher iſt

$$p = \frac{m c^2}{r}$$

die Formel für die Centripetalkraft bei der Kreisbewegung. Sie iſt mit der für die Fliehkraft im Kreiſe gefundenen übereinſtimmend. Dieſelbe Formel läßt ſich auf die Bewegung in jeder andern Bahn anwenden, wenn r den Krümmungshalbmeſſer für den Punct vorſtellt, in welchem das Bewegliche ſich befindet. Heißt die Zeit, in welcher ein Umlauf im Kreiſe gemacht wird, t und das Kreisverhältniß π; ſo iſt

$$c = \frac{2 \pi r}{t}, \text{ und daher}$$

$$p = \frac{4 \pi^2 m r}{t^2}.$$

Bedeuten M, P, R, T dasſelbe für einen zweiten Kreis; ſo iſt

$$P : p = \frac{M R}{T^2} : \frac{m r}{t^2}.$$

Nimmt man an $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$ ſo erhält man

mittelſt $P : p = \frac{M R}{T^2} : \frac{m r}{t^2}$

die Proportion $\frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2} = \frac{M R}{T^2} : \frac{m r}{r^2}$ oder $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$

d. h. wenn ſich die Centralkräfte gerade wie die Maſſen und verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, ſo verhalten ſich die Quadrate der Umlaufszeiten, wie die Würfel der Entfernungen. Dieſes gilt auch umgekehrt, denn ſetzt man voraus:

$T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, ſo hat man mittelſt

$$P : p = \frac{M R}{T^2} : \frac{m r}{t^2}$$

die neue Proportion $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$.

Dieſes Geſetz heißt das Kepler'ſche, weil es der große Kepler nebſt dem in 362 erwieſenen und einem dritten ſpäter zu erwähnenden am 15. Mai 1618 an der Bewegung der Himmelskörper befolgt fand. Die theoretiſchen Sätze über die Centralbewegung verdanken wir dem unſterblichen Newton (Newtoni philosophiae naturalis principia). Eine durch elementare Mittel bewerkſtelligte Beweisführung liefern die Anfangsgründe der Phyſik von Prof. A. v. Ettingshauſen. Wien 1844. S. 107 u. f.

Fünftes Kapitel.

Bewegungsgeſetze ſchwerer, tropfbar flüſſiger Körper. (Hydrodynamik.)

366. Daß tropfbare Flüſſigkeiten den bewegenden Kräften folgen und daß, wenn einmal eine Bewegung beſtimmter Art hervorgebracht iſt, dieſe nach den allgemeinen Bewegungsgeſetzen geſchehen müſſe, iſt für ſich klar, und in ſofern wäre über die Bewegung ſolcher Flüſſigkeiten nichts weiter zu ſagen. Allein die Verſchiebbarkeit der Theile und die dadurch begründete Fortpflanzung eines einſeitigen Druckes nach allen Richtungen macht, daß bei Flüſſigkeiten Bewegungen geſchehen, wo bei feſten Körpern Gleichgewicht wäre, und daß überhaupt Bewegungen im Innern der Flüſſigkeit entſtehen, die von der Bewegung der ganzen Maſſe verſchieden ſind. Dieſe inneren Bewegungen erſchweren die Theorie der Bewegung tropfbarer Körper ungemein und ließen ſie bis jetzt nicht zu jener Vollkommenheit gelangen, welcher ſich die Theorie der Bewegung feſter Körper erfreut. Es müſſen aber gleich vorher zweierlei von der Schwere der Theile flüſſiger Körper abhängige Bewegungen unterſchieden werden, nämlich fortſchreitende und ſogenannte Wellenbewegungen. Von beiden kann hier nur das Allgemeinſte angeführt werden, um ſo mehr, als eine weitere Ausführung auf ziemlich verwickelte Rechnungen führt.

A. Fortſchreitende Bewegung.

367. Bei der Unterſuchung der fortſchreitenden Bewegung einer tropfbaren Flüſſigkeit muß den theoretiſchen Erörterungen immer der Verſuch zur Seite ſtehen, damit man bei dem noch nicht hinreichend aufgeklärten Zuſtande dieſes Gegenſtandes vor Abwegen bewahrt werde. Man ſtellt ſolche Verſuche am beſten mit gläſernen, wo möglich durchaus gleich weiten Gefäßen an, deren Wände vertical, deren Boden horizontal ſteht. Man muß ſowohl am Boden, als an den Seiten in jeder Höhe Oeffnungen von beliebiger Größe anbringen, ſie wieder verſchließen, wohl auch Röhren von verſchiedener Geſtalt und Länge daran ſetzen können.

368. Es ſey ACDB (Fig. 131) ein ſolches Gefäß, mit Waſſer bis CD gefüllt. Sobald EF oder GH geöffnet wird, muß Waſſer herausfließen und dieſem wieder neues nachfolgen. Dadurch muß natürlich auch die Oberfläche ſinken und überhaupt eine Bewegung in der ganzen Maſſe entſtehen. Wenn das vorhergehende Waſſer ſo ſchnell ausweicht, als das darüberſtehende folgen will, ſo erfolgt gar kein Druck der Waſſermaſſen auf einander, und alles geht ſo, wie beim freien Falle vor ſich; fließt aber das vorausgehende Waſſer nicht ſo ſchnell, als das folgende fließen will, ſo drückt dieſe Maſſe auf jene, es entſteht ein Gegendruck und, weil die Theile auszuweichen ſuchen, auch ein Druck auf die Seitenwände. Daher werden die der

Ausflußöffnung zunächſt liegenden Theilchen durch ihre Schwere und durch den Druck der darüber ſtehenden Säule beſchleuniget, und der Ausfluß erfolgt ſchneller, als im freien Falle. Jene Säule drückt aber nicht mit ihrem ganzen Gewichte, weil ſie ſelbſt im Sinken begriffen iſt, ſondern deſto weniger, je mehr ſich ihre Geſchwindigkeit der von der Schwere allein bedingten nähert. Man nennt dieſen Druck den hydrodynamiſchen, zum Unterſchiede vom hydroſtatiſchen, welchen ruhende Flüſſigkeiten ausüben. Die Oberfläche des Waſſers bleibt, wenn die Oeffnung EF gegen die Weite des Gefäßes ſehr klein iſt, ſelbſt während des Sinkens immer horizontal, nur in der Nähe des Bodens fängt das Waſſer an, eine trichterförmige Vertiefung (Strudel) zu bekommen. Dieſe rührt aber von einer Seitenbewegung der Theile der Flüſſigkeit in der Nähe der Oeffnung her; denn wenn man kleine Stücke Bernſtein ins Waſſer gibt, ſo bemerkt man, daß ſie anfangs in verticaler Richtung ſinken, in der Nähe der Oeffnung aber in einer krummlinigen Bewegung gegen dieſelbe einlenken und mit einander convergiren, die Oeffnung mag am Boden oder an der Seitenwand angebracht ſeyn.

369. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in einem prismatiſchen Gefäße an der Oberfläche CD ſinkt, muß ſich zu der, mit welcher es durch die Oeffnung EF fließt, verhalten, wie der Querſchnitt EF zum Querſchnitte CD; denn wenn das Waſſer in einer Zeiteinheit von CD bis LM gekommen iſt, ſo muß das Volum CLMD dem durch EF in derſelben Zeit fließenden ENOF gleich ſeyn, d. i. $CL . CD = EF . EN$ oder $CL : EN = EF : CD$, wo CL und EN die Geſchwindigkeiten bedeuten. Kennt man die Querſchnitte EF und CD, ſo läßt ſich aus der Geſchwindigkeit in CD auf die in EF ein Schluß machen. Dieſes gewährt bei Verſuchen einen großen Vortheil, indem ſich der Raum, welchen das Waſſer in CD zurücklegt, leichter beobachten läßt als in EF. Man verſieht deßhalb das 368 erwähnte Gefäß der Höhe nach mit einer Zollſcale, beobachtet bei Verſuchen das Sinken der Oberfläche CD, und berechnet hieraus die Geſchwindigkeit in EF.

370. Iſt der Querſchnitt des Waſſerbehälters ſo groß gegen jenen der Ausflußöffnung, daß man das Waſſer im Gefäße während des Ausfluſſes als ruhig anſehen kann; ſo wird das Elementartheilchen EHKF (Fig. 132) der Flüſſigkeit durch den hydroſtatiſchen Druck der Säule EILF beſchleuniget, und erlangt, während es den Weg HE zurücklegt, die Ausflußgeſchwindigkeit c. Iſt G die Geſchwindigkeit, welche die Maſſe EHKF am Ende der Zeiteinheit haben würde, wenn die bewegende Kraft ſo lange mit ungeänderter Intenſität fortwirkte, ſo hat man nach der Formel (6) in 311, $c = \sqrt{2G . HE}$. Der Ausdruck der bewegenden Kraft ſelbſt iſt (nach 23) $G . EHKF$. Allein dieſe Kraft iſt das Gewicht der Säule EILF, mithin wenn g die Acceleration der Schwere anzeigt $= g . EILF$. Es beſteht alſo die Gleichung $G . EHKF = g . EILF$, mithin iſt wegen Gleichheit der Dichten und der Grundflächen beider

Maſſen G . HE = g . IE. Dieſem gemäß wird, wenn man die Druckhöhe IE = a ſetzt, $c = \sqrt{2ga}$. Es iſt demnach die anfängliche Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers ſchon ſo groß, als wäre es vom Waſſerſpiegel bis zur Ausflußöffnung herabgefallen.

Iſt es wegen verhältnißmäßig zu großer Ausflußöffnung nicht geſtattet, das Waſſer im Behälter als ruhig anzuſehen, ſo ſey die Ausflußgeſchwindigkeit = γ, der Querſchnitt des Behälters = B, jener der Ausflußöffnung = b. Die Geſchwindigkeit des Waſſers im Behälter iſt nun (369) $= \frac{b}{B}\gamma$. Erlaubt man ſich annäherungsweiſe $\gamma = c - \frac{b}{B}\gamma$ zu ſetzen, ſo hat man

$$\gamma = \frac{Bc}{B+b} = \frac{B}{B+b}\sqrt{2ga}.$$

371. Die ausfließende Waſſerſäule hat nicht einerlei Querſchnitt mit der Ausflußöffnung, ſondern ſie zieht ſich gleich beim Austritte aus dem Behälter zuſammen und erreicht in einiger Entfernung davon den kleinſten Durchſchnitt. Dieſes rührt ohne Zweifel davon her, daß nicht bloß das verticale ober der Oeffnung ſtehende Waſſer ausfließt, ſondern daß ſich auch das ſeitwärts befindliche zum Ausfluſſe hindrängt und daher in ſchiefer Richtung herabſteigt. Die Größe der Zuſammenziehung des ausfließenden Strahles hängt zum Theile von der Größe der Ausflußöffnung und der Druckhöhe, hauptſächlich aber von der Dicke des Bodens ab.

Bei einem dünnen Boden beträgt der Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahles $^5/_8$tel von jenem der Oeffnung, bei einem dicken Boden $^{13}/_{16}$tel, oder endlich gar $^{30}/_{31}$ſtel, wenn an der Oeffnung eine kurze nach außen ſich erweiternde Röhre angeſetzt iſt. Nach Schitko iſt der Contractions-Coefficient $= \sqrt{\left(0.38 + 0.62\frac{b}{B}\right)}$.

372. Das in einer Zeiteinheit ausfließende Waſſervolum V wird erhalten, wenn man in der Formel für die Ausflußgeſchwindigkeit γ an die Stelle von b den kleinſten Querſchnitt des Waſſerſtrahles ſetzt. Dieſer iſt $= \mu b$, wenn μ den Contractions-Coefficienten vorſtellt. Man hat dem gemäß

$$V = \frac{\mu B b}{B + \mu b}\sqrt{2ga}.$$

Dieſes Waſſervolum fließt wiederholt in jeder Zeiteinheit aus, ſobald der Behälter durch einen Nachfluß beſtändig voll erhalten wird, und die ausfließende Waſſermenge wächſt demnach mit der Dauer des Ausfluſſes im geraden Verhältniſſe. Hat der Behälter keinen Nachfluß, ſo nimmt die Ausflußgeſchwindigkeit fortwährend ab, ſo wie die Quadratwurzel der Druckhöhe abnimmt, und es fließt in einer beſtimmten Zeit nur halb ſo viel Waſſer ab, als wenn der Behälter immer gleich voll geblieben wäre.

373. Iſt die Ausflußöffnung an der Seitenwand des Gefäßes angebracht, ſo haben die in verſchiedenen, horizontalen Schichten liegenden Waſſertheile, ſchon wegen ihrer verſchiedenen Entfernung von der Oeffnung, eine verſchiedene Geſchwindigkeit. Iſt die Oeffnung gegen dieſe Entfernung klein, ſo kann man die Entfernung ihres Schwerpunctes von der Oberfläche der Flüſſigkeit für die mittlere Druckhöhe anſehen, und die Geſchwindigkeit darnach berechnen, darf aber auch hier nicht den Einfluß der Zuſammenziehung des Strahles überſehen. Die Bewegung des bereits außerhalb des Behälters befindlichen Waſſers iſt aber dann mit der eines ſchweren, nach einer horizontalen Richtung geworfenen Körpers einerlei; denn der Seitendruck treibt das Waſſer horizontal fort, während es die Schwere vertical abwärts zieht. Deßhalb iſt die Bahn eines ſolchen Strahles eine Parabel.

Iſt die ganze Seitenwand ABCD (Fig. 133) eines Gefäßes offen, und wird dasſelbe durch einen Nachfluß beſtändig gleich voll erhalten, ſo findet man die Ausflußmenge des Waſſers auf folgende Weiſe: Man denke ſich von jedem Puncte der AC eine horizontale Linie, welche die Geſchwindigkeit des Waſſers in dem dazu gehörigen horizontalen Schnitte der Oeffnung ausdrückt, und verbinde die Endpuncte dieſer Linien. Auf gleiche Weiſe wird man mit jeder Linie verfahren können, die einem horizontalen Schnitte der Oeffnung entſpricht, und man wird eine krumme Fläche ACKB erhalten, in welcher alle Endpuncte der Linien liegen, welche die Geſchwindigkeiten ausdrücken. Die Krümmung dieſer Fläche wird paraboliſch ſeyn. Denn iſt CG die Geſchwindigkeit des Waſſers in der Horizontalen CD, EH die in EF; ſo hat man: $CG = \sqrt{2g.AC}$, $EH = \sqrt{2g.AE}$, mithin $CG^2 : EH^2 = AC : AE$. Dieſes deutet an, daß AHG eine Parabel ſey, und da dieſes für jeden Punct in CD und EF gilt, ſo muß auch ACGKB die genannte Krümmung haben. Hiernach iſt man im Stande, den Waſſerkörper ACGKB zu berechnen, der in einer Zeiteinheit durch ABCD fließt; denn es iſt $ACG = {}^2/_3\, AC.CG$, daher $ACGKB = {}^2/_3\, AC.CG.CD = {}^2/_3\, AC.CD\sqrt{2g.AC}$.

374. Waſſer, das von einem Behälter durch Röhren abgeleitet wird, ſoll mit einer Geſchwindigkeit ausfließen, welche dem Höhenunterſchiede des Waſſerſpiegels im Behälter und der Ausflußöffnung entſpricht. Aber da es nebſt dem Widerſtande, den es beim Austritte aus dem Behälter erfährt, noch einen andern durch Reibung an den Röhrenwänden erleidet, welcher im verkehrten Verhältniſſe des Durchmeſſers der Röhren und im geraden ihrer Länge ſteht, überdieß auch noch von der Geſchwindigkeit des Waſſers abhängt und wie das Quadrat derſelben wächſt; ſo fällt dieſe Geſchwindigkeit viel kleiner aus, beſonders wenn die Röhrenleitung Krümmungen hat. Mehrere Gelehrte, wie z. B. Eytelwein, Prony, Navier und Girard und neueſtens Poiſeuille haben dieſe Geſchwindigkeit durch Verſuche und Rechnung auszumitteln geſucht. Unter dieſen hat vorzüglich der Letztere den Fall berückſichtiget, wo eine Flüſſigkeit durch ſehr enge Röhren geleitet wird, und gefunden, daß

das Reſultat verſchieden ausfalle, je nachdem die Flüſſigkeit die Röhrenwand benetzt oder nicht. Im letzteren Falle hört die Flüſſigkeit auf, durch ein Röhrchen auszufließen, ſobald der Druck bis zu einer gewiſſen Größe vermindert worden iſt, die von der Weite und Länge der Röhre abhängt. Die Geſchwindigkeit verſchiedener Flüſſigkeiten, welche die Röhrenwände benetzen, iſt auch ſelbſt bei einerlei Druck verſchieden, und wird durch die Länge der Röhre und ihren Durchmeſſer ſo wie durch die Temperatur der Flüſſigkeit bedeutend modificirt. (Poiſeuille in Pogg. Ann. 58. 424.)

375. Iſt die Ausflußöffnung an einer aufwärts gebogenen Röhre angebracht, ſo ſoll das Waſſer mit einer der Höhe der drückenden Waſſerſäule entſprechenden Geſchwindigkeit hervorſpringen und bis zur Oberfläche des Waſſers im Behälter aufſteigen. Weil aber dieſe Geſchwindigkeit theils durch die Adhäſion an die Ränder der Oeffnung, theils durch die Seitenbewegung der Waſſertheile, ſogar durch den Druck der wieder zurückfallenden Tropfen vermindert wird; ſo bleibt der hervorſpringende Strahl ſtark unter dieſer Höhe zurück. Je mehr man die genannten Hinderniſſe vermindert, um ſo höher wird der Strahl ſteigen, ohne doch je die durch Rechnung angegebene Höhe zu erreichen. Deßhalb iſt die Sprunghöhe geringer, wenn die Ausflußöffnung an einer cylindriſchen Röhre, als wenn ſie an einer dünnen Platte angebracht iſt; höher wenn der Strahl etwas von der verticalen Richtung abweicht, als wenn er ganz vertical emporſteigt. Deßhalb gibt es auch für jede Waſſerhöhe ein gewiſſes Maß der Oeffnung, wobei der Strahl die größte Höhe erreicht. Merkwürdig iſt die Geſtalt eines Waſſerſtrahles, der aus der kreisförmigen Oeffnung einer dünnen Wand emporſchießt. Man unterſcheidet da leicht zwei Theile, den äußeren, die Ränder der Oeffnung berührenden, und den inneren. Erſterer bildet einen Rotationskörper von ungleichen Querſchnitten, iſt ruhig und durchſichtig gleich einem Glasſtabe, letzterer unruhig, undurchſichtig und aus einer Anzahl durch gleiche Zwiſchenräume getrennter Anſchwellungen beſtehend, wovon die größte einen Querſchnitt hat, der jenen der Ausflußöffnung übertrifft. (Pogg. Ann. 29. 353; 31. 124.)

376. Bisher wurde bei der Betrachtung der bewegenden Kraft des Waſſers auf den Luftdruck keine Rückſicht genommen, und dieſes kann auch geſchehen, ſo lange man es mit Behältern zu thun hat, wo der Luftdruck auf den Waſſerſpiegel und die Ausflußöffnung als gleich groß angenommen werden kann. Geſtattet eine zu große Entfernung des Waſſerſpiegels vom Ausguſſe dieſes nicht, ſo nimmt die Druckhöhe um eine Säule ab, deren Höhe dem Uebergewichte des Luftdruckes auf die Ausflußöffnung das Gleichgewicht hält. Auf ſolche Weiſe vermindert der Luftdruck die Menge des in einer beſtimmten Zeit ausfließenden Waſſers. Es gibt aber auch Fälle, wo er dieſe Ausflußmenge vergrößert, wenn nämlich der Ausfluß durch eine nach außen ſich erweiternde Röhre geſchieht. Iſt A (Fig. 134) der Waſſerbehälter, a b c d die Anſatzröhre; ſo ſucht der Waſſerdruck in dem Querſchnitte

ab und cd dieſelbe Geſchwindigkeit zu erzeugen; aber durch die grö-
ßere Oeffnung cd fließt in einer Zeiteinheit mehr Waſſer als durch
ab, und es würde demnach zwiſchen ab und cd ein leerer Raum
entſtehen, wenn nicht der Luftdruck ein ſchnelleres Nachfließen durch
ab bewirkte und ſo die Ausflußmenge vermehrte. Daß dieſes ſo ſey,
erkennt man, wenn man an der Ausflußröhre einen abwärts gerichte-
ten, ins Waſſer reichenden Anſatz e anbringt; denn da wird das Waſ-
ſer in demſelben aufgeſaugt.

377. Wenn fließendes Waſſer die ganze, der Druckhöhe entſpre-
chende Geſchwindigkeit hat, ſo übt es gar keinen Druck auf den Be-
hälter aus; ſo wie aber ſeine Geſchwindigkeit kleiner wird, als die
Druckhöhe verlangt, entſteht ein Druck auf das Gefäß von innen nach
außen; überſchreitet die Geſchwindigkeit die der Druckhöhe entſpre-
chende Größe, ſo werden die Gefäßwände gar einwärts gedrückt. Man
kann demnach bei einem Gefäße, welches fließendes Waſſer enthält,
durch Vermindern, Vermehren oder Aufheben der Geſchwindigkeit des
Ausfluſſes den Druck auf die Gefäßwände vermehren, vermindern oder
gar der Richtung nach umkehren. Auf einer ſolchen Veränderung des
Druckes beruht der ſogenannte Stoßheber.

Der Stoßheber (Fig. 135) beſteht aus einer hinreichend langen, horizontalen Röhre A, die an einem Ende mit einem höher gelegenen Waſſergefäße B in Verbindung ſteht, am andern Ende aber ſich in einen Heronsball C mittelſt einer Klappe a mündet, die ſich vom Inneren der Röhre nach außen öffnet. Nahe dabei und außerhalb des Heronsballes hat ſie ein zweites, einwärts ſich öffnendes Ventil b, das ſich durch ſein eigenes Gewicht öffnet. Sobald das Waſſer vom Behälter in die Röhre tritt und ſie anfüllt, ſtößt es an die letztgenannte Klappe und ſchließt ſie; dadurch verwandelt ſich der hydrauliſche Druck in einen hydroſtatiſchen, und das Waſſer wird in den Stand geſetzt, die Klappe am Heronsballe zu öffnen, hineinzudringen und die Luft daſelbſt zu verdichten. Dabei geht es aber vermöge der Trägheit weiter, als das Gleichgewicht fordert; der Theil außer dem Heronsballe geht daher wieder zurück, und wird dabei von den beiden zurückfallenden Klappen, beſonders von der äußeren, unterſtützt, kehrt, wie ein Pendel, wieder gegen die Klappen hin, es dringt wieder ein Theil in den Heronsball und fängt an in die Höhe zu ſpringen u. ſ. f.

378. Fließendes Waſſer übt gegen einen darin feſtgehaltenen
Körper einen Druck aus, deſſen Größe ſich beſtimmen läßt. Erfolgt
derſelbe nach einer auf die gedrückte Fläche ſenkrechten Richtung; ſo
wird er durch den Druck einer Waſſerſäule gemeſſen, deren Baſis die-
ſer Fläche gleich, und deren Höhe die der Geſchwindigkeit des Waſſers
entſprechende Fallhöhe iſt. Heißt demnach die Größe der gedrückten
Fläche A, die Geſchwindigkeit des Waſſers c, die Acceleration der
Schwere g, mithin die zu c gehörige Fallhöhe $\frac{c^2}{2g}$; ſo iſt die Größe
des Druckes $= \frac{A c^2}{2g}$. Einen ſchiefen Druck kann man nach 325 be-
handeln.

Iſt die Fläche des Körpers viel größer als der gegen ſelbe ſich bewegende Waſſerſtrahl, ſo fließt das Waſſer ſchon in einiger Entfernung von dieſer Fläche auf einer krummen Bahn ab, und der ſenkrechte Druck iſt nahe doppelt ſo groß, als nach der vorhergehenden Rechnung. Auf dieſen Geſetzen beruht die Theorie der unterſchlächtigen Waſſerräder, die Form der Brückenpfeiler ꝛc. Mehr hierüber in hydrauliſchen Werken: Lehrbuch der Hydraulik von Langsdorf. Altona, 1795. Eitelwein's Lehrbuch der Mechanik und Hydraulik Berlin 1824. Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano, 1818. Gerſtner's Handbuch der Mechanik. Prag, 1832. 2. Band.

B. Wellenbewegung.

379. Es iſt längſt bekannt, daß tropfbare Flüſſigkeiten eine Bewegung annehmen können, bei welcher ein Theil über, ein anderer unter der Oberfläche der ruhenden Maſſe ſich befindet; man nennt ſie Wellenbewegung. Sie iſt immer das Reſultat einer ſolchen Störung des Gleichgewichtes, bei welcher die Theile nicht über die Grenzen ihrer Stabilität hinaus verrückt werden. Pflanzt ſich dabei die Bewegung von den Theilen, welche unmittelbar von der das Gleichgewicht ſtörenden Urſache afficirt werden, zu den benachbarten fort und von dieſen wieder zu den an ſie grenzenden, ſo nennt man die daraus hervorgegangene Wellenbewegung eine fortſchreitende; bewegen ſich aber die in einer Wellenbewegung begriffenen Theile gleichzeitig, ſo heißt ſie eine ſtehende. Es wird in der Folge gezeigt werden, daß letztere immer aus erſterer hervorgeht.

380. Jener Theil einer Welle, welcher ſich über der Horizontalebene der ruhenden Flüſſigkeit befindet, heißt Wellenberg, der unter dieſer Ebene befindliche Wellenthal. Iſt AC (Fig. 136) eine horizontale Linie, ADB ein Durchſchnitt eines Wellenberges, BEC der eines Wellenthales, und ſchreitet die Welle längs AC fort; ſo heißt AD der Hintertheil, DB der Vordertheil des Wellenberges, BE der Hintertheil, EC der Vordertheil des Wellenthals, C der Anfangspunct, A der Endpunct der Welle. Die Entfernung des höchſten Punctes des Wellenberges von der Horizontalen iſt die Höhe des Wellenberges, die Entfernung des tiefſten Punctes des Wellenthales von derſelben Horizontalen, die Tiefe des Wellenthals, die Summe DF + GE aus der Höhe eines Wellenberges und der Tiefe des dazu gehörigen Wellenthals die Höhe der ganzen Welle. AB heißt die Breite (Länge) des Wellenberges, BC die des Wellenthals, AC die Breite der ganzen Welle. Jeder Wellenberg hat nach oben eine convexe, jedes Wellenthal eine concave Krümmung, beide gehen zwar ſtetig in einander über, es iſt aber die Krümmung eines Wellenberges mit der des dazu gehörigen Wellenthals keineswegs congruent, ja nicht einmal der Vortheil eines Wellenberges iſt mit ſeinem Hintertheile gleich geſtaltet, wie man am beſten ſieht, wenn man in einem mit Queckſilber gefüllten Gefäße eine Welle erregt und parallel mit der Richtung ihres Fortſchreitens eine mit Mehl beſtaubte Schiefertafel hineinſetzt, damit die

Welle den Staub wegnehme und ſich gleichſam ſelbſt abbilde. Die Wellen erſtrecken ſich in ſehr bedeutende Tiefen, wie man vorzüglich aus dem Trüben des Waſſers über einem ſchlammigen Grunde erſieht, wenn daſelbſt Wellen entſtanden ſind.

381. Läßt man ein kleines Steinchen in ruhiges Waſſer fallen, ſo bildet ſich gleich nach dem Eindringen deſſelben an der getroffenen Stelle eine kleine Vertiefung und rings um dieſelbe ein kreisförmiger, erhöhter Wall. Dieſer theilt ſich bald darauf in zwei Theile, wovon einer nach außen fortgeht und eine kreisförmige, ſich beſtändig erweiternde Welle bildet, deren Mittelpunct der getroffene Punct iſt, während der andere nach innen fortſchreitet und die im Mittelpuncte der Welle befindliche Flüſſigkeit in die Höhe treibt. Der ſo aufwärts getriebene Theil ſinkt wieder zurück und ſpielt dabei dieſelbe Rolle, wie das zuerſt hineingeworfene Steinchen. So kommt es, daß bei hinreichend tiefem Waſſer und einer bedeutenden Fallhöhe des hineingeworfenen Körpers, ein zwei- oder dreimaliges Aufſteigen des Waſſers an der vorhin genannten Stelle Statt findet, deren jedes wieder ſeine eigene aber immer ſchwächere Welle erregt. Iſt das Waſſer um den Mittelpunct der Welle ruhig geworden, ſo bemerkt man, daß die letzte, mithin kleinſte Welle während ihres Fortſchreitens auch noch wie obiger Wall neue Wellen erregt; denn man ſieht an der Stelle, welche ſie verlaſſen hat, immer wieder eine kleinere Welle entſtehen, die aber nur nach außen fortſchreitet. Durch dieſe Rückwirkung der Wellen muß offenbar jede durch die ihr zunächſt vorausgehende verſtärkt werden. Bei genauerer Aufmerkſamkeit zeigt die Erfahrung ſelbſt vor der zuerſt entſtandenen, unmittelbar durch den Stoß erzeugten Welle mehrere concentriſche, größere und ſchwächere Wellen, bei denen es den Anſchein hat, als wären ſie durch ein ſtoßweiſe immer ſtärker werdendes Ausweichen des Waſſers beim Hineinfallen des Steines erregt worden. Aus dem Geſagten ſieht man, daß ein Stoß gegen eine tropfbare Flüſſigkeit mehrere Wellen erregt.

382. Die ſo erzeugten Wellen erweitern ſich beſtändig und bleiben dabei kreisförmig, wenn ihnen kein Hinderniß in den Weg kommt: ja ſelbſt ſolche Wellen, die beim Entſtehen eine von der Kreisform abweichende Geſtalt haben, nähern ſich dieſer beim Erweitern immer mehr. Trifft eine Welle beim Fortſchreiten auf einen in der Flüſſigkeit ſchwimmenden Körper; ſo hebt und ſenkt ſie ihn um ihre eigene Höhe, ertheilt ihm aber keine fortſchreitende Bewegung. Bei Wellen, die im fließenden Waſſer erregt werden, fließt der Mittelpunct mit der dem Waſſer eigenen Geſchwindigkeit fort, ohne Störung der Wellenbewegung; denn wirft man ein Stück Holz in ſolches Waſſer, ſo bleibt es ſtets im Centrum der erregten Welle und wird dabei ſtromabwärts getragen. Läßt man in einem ſchmalen, langen, viereckigen Gefäße Wellen entſtehen, ſo können ſie nur die Geſtalt eines Kreisbogens von beſtimmter Länge annehmen; die durch Rütteln eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes entſtandenen Wellen verengen ſich immer mehr und laufen in der Mitte deſſelben zuſammen. Unter allen dieſen

Umſtänden ſchreitet jeder Punct einer Welle nach der Richtung der zu ihm gehörigen normalen Linie fort. Bei kreisförmigen Wellen fällt dieſe Richtung für jeden Punct mit dem Radius des Kreiſes zuſammen, der von dieſem Puncte aus gezogen iſt. Beim Fortſchreiten iſt der Vordertheil des Wellenberges und der Hintertheil des Wellenthales im Steigen, und der Hintertheil des Wellenberges und der Vordertheil des Wellenthales im Sinken begriffen. Im Sinken des Vordertheiles des Wellenberges liegt die bewegende Kraft, wodurch das weitere Fortſchreiten bewirkt wird.

383. Die Geſchwindigkeit der Wellen tropfbarer Flüſſigkeiten wächſt, nach dem Zeugniſſe der Erfahrung, mit ihrer Breite und Höhe, mithin auch mit der Größe und Geſchwindigkeit der ſie durch Stoß erzeugenden Maſſe; denn dieſe beſtimmt die Breite und Höhe derſelben. Eine Aenderung im ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeit übt auf die Geſchwindigkeit der Wellen keinen merklichen Einfluß aus, Verminderung der Tiefe der Flüſſigkeit vermindert die Geſchwindigkeit der Wellen, jedoch bei verſchiedenen Flüſſigkeiten und einerlei Abnahme der Tiefe nicht in demſelben Verhältniſſe. Hieraus erklärt es ſich, warum Wellen, die ſich ſtets mehr erweitern und dabei an Höhe abnehmen, auch immer langſamer werden; warum bei Wellen, die ſich ſtets verengen, das Gegentheil Statt findet, warum ſolche, bei denen weder das eine noch das andere der Fall iſt und die immer an Höhe ab-, an Breite zunehmen, ſtets mit derſelben Geſchwindigkeit fortgehen. Letztere ſind daher beſonders geeignet zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit der Wellenbewegung. Die Brüder Weber, denen wir die meiſte Aufklärung hierüber ſchuldig ſind, haben ſich dieſes Mittels bedient.

384. Die genaueſte Kenntniß der Wellenbewegung tropfbarer Flüſſigkeiten erwirbt man ſich, wenn man ſich über die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen, mit denen ſie verbunden iſt, auf dem Erfahrungswege unterrichtet. Zu dieſem Zwecke haben die Gebrüder Weber bei den Verſuchen, welche ſie über dieſen Gegenſtand anſtellten, ein rechtwinkeliges, ſchmales, aber tiefes und langes Gefäß mit gläſernen Seitenwänden gebraucht, das ſie Wellenrinne nannten. Sie füllten es mit Flußwaſſer, das viele darin ſchwebende, feine, feſte Theile enthielt, erregten darin Wellen, und beobachteten dann die Bahnen der ſchwimmenden Körperchen, in der Vorausſetzung, daß man dadurch die Bewegung der durch dieſe Körper verdrängten Flüſſigkeit kennen lerne. Auf dieſe Weiſe fanden ſie: 1) Daß ſich die Waſſertheilchen an der Stelle, wo die Oberfläche der Flüſſigkeit die Geſtalt einer Welle annimmt, in verticalen Bahnen bewegen, die entweder in ſich zurückkehren oder nicht, je nachdem die zuſammengehörigen Wellenberge und Wellenthäler gleich geſtaltet ſind oder nicht. Iſt z. B. A (Fig. 137) ein ſolches Theilchen, A x eine horizontale Linie, nach welcher die Wellen fortſchreiten, ſo macht A im erſten Falle den Weg A C B D A, im zweiten den Weg A′ C′ B′ D′. Während A den über A x liegenden Theil der Bahn beſchreibt, bildet es einen Theil

des Wellenberges, während es den unterhalb derſelben liegenden zurücklegt, einen Theil des Wellenthales. Es iſt daher der verticale Durchmeſſer dieſer Bahn der Höhe der Welle gleich. 2) Die in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung ſucceſſiv; aber es ſtoßen nie zwei Theilchen, deren Bahnen ſich ſchneiden, zuſammen. In der Fortpflanzung dieſer Bewegung von Theilchen zu Theilchen liegt der Grund der Wellenfortpflanzung. 3) Während ein Theilchen der Flüſſigkeit eine Bahn einmal zurücklegt, ſchreitet die dadurch gebildete Welle um ihre ganze Breite vorwärts, es geht das Wellenthal oder der Wellenberg voraus, je nachdem die betreffenden Theilchen ihre Bewegung nach abwärts oder nach aufwärts beginnen. 4) Die Zeit, in welcher ein Theilchen ſeine ganze Bahn einmal zurücklegt, beſtimmt das Verhältniß der Höhe der Welle zu ihrer Breite. 5) Die Bewegung der Theilchen erſtreckt ſich bis zu einer ſehr großen Tiefe, und die in einer verticalen Linie liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung zugleich, aber in Bahnen, deren horizontaler und verticaler Durchmeſſer deſto kleiner iſt, je tiefer ein Theilchen liegt, auch übertrifft der horizontale Durchmeſſer den verticalen deſto mehr, je weiter ein Theilchen von der Oberfläche entfernt iſt. In ſehr großen Tiefen haben dieſe Theilchen nur eine horizontale, hin- und hergehende Bewegung. 6) Die näher an der Oberfläche liegenden Theilchen durchlaufen ihre Bahnen nicht ſo geſchwind, als die tiefer liegenden. 7) Jedes Theilchen, das durch eine momentan wirkende Kraft in Bewegung verſetzt wurde, wiederholt ſeine Umdrehung mehrmals, aber in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit, und ſo viele Umläufe es macht, eben ſo viele Wellen gehen an jenem Orte vorüber. Man ſieht hier beſonders deutlich, daß die ſchwingende Bewegung der Theilchen die eigentliche, wirkliche Bewegung beim Fortgange der Wellen und die Welle nur die Geſtalt iſt, welche die Flüſſigkeit an ihrer Oberfläche, vermög der Bewegung ihrer kleinſten Theile, annimmt. Demnach ſchreitet ein und derſelbe Wellenberg über dem Niveau einer Flüſſigkeit fort, ohne die Flüſſigkeit mit ſich fortzuführen, und die Wellenberge und Wellenthäler erhalten ſich hinter einander in ihrer Form, ohne daß ſie in einander übergehen.

Fig. 138 ſtellt mehrere kreisförmige Bahnen vor, welche die daſelbſt befindlichen Theile a b c d e f in der Richtung des beigeſetzten Pfeiles beſchreiben. Men denke ſich jedes dieſer Theilchen in dem Zuſtand, wo das erſte a bereits die ganze Bahn zurückgelegt hat, und ſich wieder in a befindet, das letzte f aber gerade ſeine Bewegung beginnt. Da iſt nun b nach b′, c nach c′, d nach d′, e nach e′ gekommen, und die Flüſſigkeit hat die Geſtalt der Curve a b′ c′ d′ e′ f annehmen müſſen.

385. Von der Bewegung der Flüſſigkeitstheilchen bei der Fortpflanzung einer Welle iſt diejenige verſchieden, welche den Theilchen bei der Entſtehung einer Welle zukommt. Das, was durch Erfahrung hierüber bekannt iſt, bezieht ſich auf den Fall, wo man aus einer flüſſigen Maſſe mittelſt einer Röhre plötzlich eine Säule von beſtimmter Länge herausgehoben und dadurch Wellen erzeugt hat. Es

beſteht in Folgendem: Es erſtreckt ſich die Verſchiebung der Theilchen ſcheinbar gleichzeitig in große Tiefen, nimmt aber der Größe nach gegen unten ſchnell ab. Die Richtung der Theilchen iſt nach Verhältniß ihrer Lage und Entfernung vom Entſtehungsorte der Bewegung ſehr verſchieden. Die in einer verticalen Linie unter dieſer Stelle liegenden Theilchen bewegen ſich ſenkrecht aufwärts und dann ein wenig nach entgegengeſetzter Richtung, die ſeitwärts und tiefer liegenden haben eine ſchiefe Bewegung gegen den Urſprung der Bewegung hin, bei den der Oberfläche näheren werden die Bahnen gar gekrümmt und zwar deſto mehr, je näher ſie der Oberfläche liegen

386. Wenn zwei Wellen einander begegnen und ſich durchkreuzen oder wie man zu ſagen pflegt, interferiren, ſo entſteht aus zwei Wellenbergen ein einziger, deſſen Höhe faſt der Summe beider gleich iſt. Dasſelbe erfolgt mit zwei ſich durchkreuzenden Wellenthälern. Hievon überzeugt man ſich, wenn man in der Wellenrinne (384) an den entgegengeſetzten Enden zwei Wellen im Queckſilber erregt und den bei ihrer Durchkreuzung entſtandenen Wellenberg oder das Wellenthal mittelſt einer beſtaubten Schiefertafel ſich (nach 380) abbilden läßt. Nach der Durchkreuzung trennen ſich die beiden Wellenberge und Wellenthäler wieder von einander ſo, daß es den Anſchein hat, als wären die Wellen ungeſtört durch einander gegangen. Trifft ein Wellenthal einer Welle mit einem eben ſo großen Wellenberge einer andern Welle zuſammen, ſo heben ſich beide an der Durchkreuzungsſtelle auf.

Eine recht artige Erſcheinung bringt die Interferenz der Wellen hervor, die man im Queckſilber an zwei einander nahen Stellen a und b Fig. 139 mittelſt hineinfallender Tropfen erregt, und welche ſich an einigen Stellen beim Durchkreuzen aufheben, an anderen verſtärken. Sowohl die Stellen. wo das eine, als die, wo das andere Statt findet, liegen in hyperboliſch gekrümmten Linien, wie ſie die Figur zeigt. Man erkennt die Streifen, wo ſich die Wellen beim Durchkreuzen aufheben oder verſtärken, wenn man ſchief nach der Länge der Figur darauf hinſieht.

387. Betrachtet man während der Durchkreuzung der Wellen die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen, ſo findet man, daß ſich die krummen Bahnen, welche ſie vor der Durchkreuzung beſchreiben, in geradlinige verwandeln, daß die gerade unter dem höchſten Puncte eines durch Durchkreuzung entſtandenen Wellenberges liegenden Theilchen eine verticale Richtung haben, zu deren beiden Seiten aber ſchief gegen dieſen Punct hin gerichtet ſeyen. Bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge geht die Bewegung aufwärts, bei jener zweier Wellenthäler abwärts; dieſe geradlinige Bahn iſt immer größer als der verticale Durchmeſſer der vor der Durchkreuzung beſtehenden krummen Bahnen. Bei der Durchkreuzung ſcheint eine kleine Verzögerung in der Fortpflanzung einzutreten, nach der Durchkreuzung bewegen ſich aber die Wellen mit derſelben Geſchwindigkeit fort, als hätten ſie ſich nicht durchkreuzt.

388 So lange eine Welle ſich in einer homogenen Flüſſigkeit fortpflanzt, wird durch jedes bewegte Theilchen in dem daran grenzenden eine gleiche Bewegung nach derſelben Richtung erregt und ſomit gleichſam die Bewegung eines Theilchens dem benachbarten in der Richtung der Fortpflanzung gelegenen abgetreten. So wie aber dieſe Bewegung an der Grenze zweier heterogenen Mittel anlangt, kann dieſe Uebertragung der Bewegung von einem Theilchen zum andern nicht mehr auf dieſelbe Weiſe Statt finden, ſondern es pflanzt ſich die Bewegung zum Theile im neuen Mittel fort, kehrt aber zum Theile ins neue zurück. Letzteres begründet eine Welle, welche man die zurückgeworfene (reflectirte) nennt, ſo wie der ganze Hergang ihres Entſtehens Reflexion genannt wird. War die einfallende Welle kreisförmig, ſo iſt es auch die reflectirte, und geht bei erſterer der Wellenberg voran, ſo geſchieht dieſes auch bei der zurückgeworfenen.

389. Es iſt nothwendig, die Anordnung der Bewegung der kleinſten Theile in der reflectirten Welle zu unterſuchen. Zu dieſem Ende ſey an abcde (Fig. 140) die Welle, welche an die Wand A anſtoßt, und bei welcher der Berg, deſſen Spitze e iſt, dem Thale voran geht. Man betrachte den Verlauf der Reflexion in vier Zeitabſchnitten, deren jeder ein Viertel der Schwingungsdauer eines Theilchens in der Welle iſt: Nach Beendigung des erſten Zeitabſchnittes iſt cd an die Stelle von de gekommen und dc hat ſich in einen von A weggehenden Wellenberg verwandelt. Dadurch iſt cd auf das Doppelte an Höhe gewachſen, hat aber um eben ſo viel an Breite abgenommen, wie (β) zeigt. Nach einer doppelt ſo langen Zeit iſt c in e angelangt, ſo daß von der Welle nur abc (γ) vorhanden wäre, wenn keine Reflexion erfolgte; aber es hat ſich zugleich der Wellenberg cde (α) in einen von AB weggehenden cda (γ) verwandelt: abc und cda heben einander auf und es wird für einen Augenblick die Oberfläche der Flüſſigkeit ganz eben. Nach Verlauf eines dreifachen Zeittheilchens von der vorhin angegebenen Dauer iſt ab an die Stelle von bc gekommen, eben dahin fällt auch das zurückkehrende Stück bc ſo, daß dadurch das Wellenthal doppelt ſo tief und nur halb ſo breit wird, und das Ganze wie die Zeichnung in (δ) ausſieht. Endlich nach Ablauf von vier ſolchen Zeittheilchen bekommt die Welle die Lage abcde (ε) und die Richtung des beigeſetzten Pfeiles. Die Bahnen der Flüſſigkeitstheilchen ſelbſt erleiden bei der Reflexion dieſelbe Aenderung, wie bei der einfachen Durchkreuzung (387), es wird nämlich, wie dort, ihre verticale Bewegung auf Koſten der horizontalen verſtärkt, ſo daß die krummen Bahnen in gerade, verticale oder geneigte verwandelt werden.

390. Wenn in einem tropfbaren Medium eine Welle an eine mit einer Oeffnung verſehene Wand anſtößt, ſo erleidet ſie eine eigene Modification, welche Beugung genannt wird. Iſt z. B. AB (Fig. 141) eine Oeffnung in einem Brete, a der Mittelpunct einer kreisförmigen Waſſerwelle; ſo wird der Theil, welcher die Wand und nicht die Oeffnung trifft, ſich erweitern, als wäre die Welle gar nicht

unterbrochen; daſſelbe thut auch der Theil AB, welcher durch die Oeffnung geht, nur mit der Modification, daß die Enden dieſer Wellenbögen nicht mehr in der Richtung fortſchreiten, die ihnen bei der freien Bewegung zukäme, ſondern ſich gegen die Wände zu Kreisbögen bc und de umbeugen, deren Mittelpuncte in A und B liegen. Dieſe Bögen unterhalten ſtets die Verbindung zwiſchen dem Theile der Welle vor und hinter der Oeffnung.

Die durch Beugung entſtandenen, kreisförmigen Wellen bc und de kreuzen ſich bei ihrer Erweiterung und verſtärken ſich an einigen Stellen, ſchwächen ſich an anderen oder heben ſich gar auf. Die auf einerlei Art entſtandenen Wellen liegen in einer Hyperbel, und man kann ſowohl dieſes, als den ganzen Verlauf der angeführten Beugungsphänomene deutlich ſehen, wenn man ein etwa $^1/_2$ Zoll dickes, mit einer Oeffnung verſehenes Bret in Queckſilber taucht, und in dieſes regelmäßig Queckſilbertropfen fallen läßt Die Erſcheinung hat völlige Aehnlichkeit mit Fig. 139. In die Reihe der Beugungsphänomene gehören auch die Wirbel, welche ſich bilden, wenn Waſſer an ein Bret anſtößt, aber zu beiden Seiten deſſelben vorbeifließen kann. Dieſe Wirbel ſind auf beiden Seiten gegen einander gerichtet, und können ſich bei nicht zu großer Länge des Bretes in einander verſchlingen.

391. Wenn an einer Stelle einer Flüſſigkeit auf eine der vorbenannten Arten, z. B. durch einen Stoß, eine Welle erregt wird, ſo ſchreitet dieſelbe bis zu den Grenzen dieſes Körpers fort, wird aber an dieſen reflectirt. Wiederholt ſich der Stoß ſchnell hinter einander, ſo begegnen die reflectirten Wellen den directen, beide durchkreuzen ſich und können unter den gehörigen Umſtänden eine ſtehende Oſcillation erzeugen. Hat nämlich die Oberfläche der Flüſſigkeit eine regelmäßige Bewegung und erfolgen die Stöße in gleichmäßigen Intervallen, ſtehen ferner die Dimenſionen der erregten Wellen zu den Abmeſſungen der Oberfläche der Flüſſigkeit in einem ſchicklichen Verhältniſſe; ſo findet eine conſtante regelmäßige Durchkreuzung der directen und reflectirten Wellen Statt. Gewiſſe Puncte bleiben, weil ſich da die Bewegung aufhebt, in Ruhe und bilden Wellen, durch welche der Körper in Partien getheilt wird, die unter einander und zum Ganzen ein ſolches Ebenmaß haben, daß je zwei an einander grenzende Partien gleiche und entgegengeſetzte Schwingungen vollbringen. Die Stellen, worin die ruhenden Puncte liegen, erſcheinen als ruhig und werden Knotenlinien genannt.

392. Die Eigenthümlichkeiten der ſtehenden Schwingungen ſind: 1) Es findet dabei kein wahrnehmbares Fortſchreiten der Wellen Statt, ſondern es verwandelt ſich nur immer ein Wellenberg in ein Wellenthal. 2) Die Breite der ſtehenden Welle iſt nur halb ſo groß als die der fortſchreitenden, ihre Höhe aber größer. 3) Eine ſtehende Schwingung dauert noch fort, wenn auch die ſie erregende Urſache zu wirken aufgehört hat.

Ein ſchönes Beiſpiel einer ſolchen ſtehenden Schwingung kann man am Queckſilber ſehen, das ſich in einem regelmäßigen Gefäße befindet, in

deſſen Mitte man tactmäßig einen Körper ſenkrecht eintaucht und wieder herauszieht; insbeſondere wenn man in ein cylindriſches Gefäß reines Queckſilber gibt, und durch einen feinen Trichter Queckſilber darauf fließen läßt. Man bemerkt da deutlich, wie ſich in der Nähe des entgegengeſetzten Randes durch Zuſammentreffen reflectirter Wellen gleichſam ein zweiter Wellenmittelpunct bildet. Mittelſt der Wellenrinne kann man den Vorgang bei der Erzeugung ſtehender Oſcillationen im Detail verfolgen. Um hievon eine deutliche Vorſtellung zu bekommen, denke man ſich A B (Fig. 142) als das Ende des die Wellenrinne bildenden ſchmalen, mit Waſſer gefüllten Kaſtens, und zugleich als den Durchſchnitt der Oberfläche des ruhenden Waſſers mit einer verticalen, der Längenrichtung des Kaſtens parallelen Ebene. Es werde eine Welle erregt, die gegen B fortſchreitet und die Breite A B hat. So wie ſie in B anlangt, folge ihr eine zweite eben ſo beſchaffene, dieſer auf gleiche Weiſe eine dritte u. ſ. w. Es ſey t die Zeit, in der eine Welle den Weg zurücklegt, welcher dem vierten Theile ihrer Breite gleichkommt. Iſt vom Augenblicke des Eintreffens des vorderſten Punctes der Welle in B die Zeit t verfloſſen, ſo hat der Wellenberg die halbe Breite durch ſein Fortrücken eingebüßt, aber durch Reflexion eine doppelte Höhe erlangt, ſo, daß nun dieſer halbe Wellenberg, das ganze Wellenthal und von der zweiten Welle wieder ein halber Wellenberg vorhanden iſt (α). Nach Verlauf der Zeit 2 t füllt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg das Wellenthal ganz aus, und bildet an ſeiner Stelle eine ebene Fläche, es iſt aber von der zweiten Welle der ganze Berg vorhanden (β). Nach 3 t gibt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg der erſten Welle mit dem directen der zweiten einen Berg von doppelter Höhe, das Wellenthal der erſten Welle hat die halbe Breite eingebüßt und durch das reflectirte halbe Wellenthal doppelte Tiefe gewonnen; auf der entgegengeſetzten Seite befindet ſich das halbe Wellenthal der zweiten Welle (γ). Nach 4 t hat ſich der directe Wellenberg der zweiten Welle über das reflectirte Wellenthal der erſten Welle, und der reflectirte Wellenberg der erſten Welle über das directe Wellenthal der zweiten Welle gelagert. Da jedes Paar ſich aufhebt, ſo beſteht in dieſem Augenblicke eine ebene Oberfläche der Flüſſigkeit (δ). Nach 5 t hat der Wellenberg der zweiten Welle die halbe Breite verloren und durch Reflexion eine doppelte Höhe erreicht, das Wellenthal dieſer Welle gibt zunächſt an jenem mit dem reflectirten Wellenthale der erſten Welle ein doppelt ſo tiefes Wellenthal, und an dieſes ſchließt ſich der halbe Wellenberg der dritten Welle an, der durch den halben reflectirten Berg der erſten Welle eine doppelte Höhe erlangt, ſo daß nun die vorhandenen Wellen ganz ſymmetriſch angeordnet ſind (ε). Nach 6 t ſind die beiden Wellenthäler, welche vorhin das große Thal ausmachten, durch einander durchgegangen, und nehmen neben einander die ganze Länge des Gefäßes ein, zugleich fällt in eines dieſer Thäler der reflectirte Wellenberg der zweiten Welle, ins andere der directe Wellenberg der dritten Welle. Dadurch wird die Oberfläche der Flüſſigkeit wieder eben, wie in δ (ζ). Nach 7 t hat das halbe Wellenthal der zweiten Welle durch Reflexion eine doppelte Tiefe erlangt und die halbe Breite verloren, daran ſchließt ſich der Wellenberg der dritten Welle durch den Wellenberg der reflectirten zweiten zur doppelten Höhe gebracht, und endlich das halbe Thal der erſten reflectirten Welle mit dem halben Thale der directen dritten an, ſo daß nun wieder die Wellenform ganz ſymmetriſch iſt und eine der ε entgegengeſetzte Lage hat (η). Von nun an findet man, daß ſich immer nur die drei Formen ε, ζ, η wiederholen, daß immer ein Wellenberg

mit einem Wellenthale wechſelt, ohne fortzuſchreiten, daß jeder Berg aus zwei Hälften beſteht, wovon zuletzt beide im Sinken, und jedes Thal aus zwei Hälften, wovon beide im Steigen begriffen ſind. Was hier am Ende A B des Kaſtens vorgeht, findet auch in den vorderen Theilen Statt. Sollen die am Anfange des Kaſtens reflectirten Wellen in das Ganze paſſen, ſo muß die Hälfte der Wellenlänge ein aliquoter Theil der Länge des Kaſtens ſeyn. Als Hauptquelle für Wellenlehre iſt anzuſehen: Wellenlehre auf Experimente gegründet von E und W. Weber. Leipzig 1825. Siehe ferner über die Bewegung der Wellen von Emy, aus dem Franzöſiſchen. Wien 1839. Aimé in Pogg. Ann. 57. 584.

Sechstes Kapitel.

Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper (Aërodynamik).

393. Die Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Flüſſigkeiten ſind den für tropfbare Körper aufgeſtellten in vielen Stücken ähnlich, im Ganzen aber doch ſchwieriger zu entwickeln als dieſe und minder leicht einer populären Darſtellung fähig. Strömt ein Gas aus einer Oeffnung, welche an der dünnen Wand ſeines Behälters angebracht iſt, in einen luftleeren Raum heraus; ſo wird ſeine Geſchwindigkeit wie die eines tropfbaren Körpers berechnet, nur mit dem Unterſchiede, daß die dieſer Geſchwindigkeit entſprechende Druckhöhe nicht die der wirklichen Gasſäule iſt, ſondern jene, welche Statt finden würde, wenn man die ganze Gasmaſſe auf die Dichte reducirte, welche ſie an der Ausflußöffnung hat. Strömt z. B. atm. Luft aus einem Gefäße in einen leeren Raum; ſo muß man, um jene Reduction machen zu können, den Barometerſtand b, die Dichte D des Queckſilbers und die Dichte d der Luft an der Ausflußöffnung kennen. Heißt die zu findende Höhe x, ſo iſt $d : D = b : x$ und $x = \frac{Db}{d}$, und daher die Geſchwindigkeit, mit welcher die Luft ausſtrömt, $\sqrt{\frac{2gDb}{d}}$. Dieſe Formel gibt natürlich auch die Ausflußgeſchwindigkeit in einen leeren Raum für jedes andere Gas an, deſſen Dichte an der Ausflußöffnung durch d ausgedrückt wird und das unter dem Drucke b ſteht. Es verhalten ſich daher dieſe Geſchwindigkeiten bei verſchiedenen Gaſen verkehrt, wie die Quadratwurzeln ihrer Dichten. Die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Gas in ein anderes hineinſtrömt, läßt ſich nicht auf ſo einfache Weiſe beſtimmen. Indeß kann man doch die Differenz der Druckhöhen, deren eine dem ausſtrömenden Gaſe, die andere demjenigen entſpricht, in welches jenes hineinſtrömt, als die Größe anſehen, welche ſtatt x in obige Formel geſetzt, die geſuchte Geſchwindigkeit gibt. Ein Gas, das in den bereits von einem andern Gaſe erfüllten Raum ſtrömt, hat zwar eine kleinere Geſchwindigkeit, als wenn je-

ner Raum leer wäre, doch wird dieſe Verminderung der Geſchwindigkeit nicht durch eine poſitive Gegenwirkung des Gaſes hervorgebracht, ſondern nur durch Verengung der Ausſtrömungsöffnung.

394. Wenn man die Reſultate dieſer Berechnungen mit den Ergebniſſen directer Verſuche vergleicht, wie ſie Schmidt (Gilb. Ann. 66. 39), d'Aubuiſſon (Ann. de Ch. 34. 380) u. a. angeſtellt haben; ſo findet man, daß jene eine viel größere Geſchwindigkeit geben als dieſe. Nach Schmidt beträgt die wirkliche Geſchwindigkeit nur 0.52 von der berechneten, wenn die Ausflußöffnung an einer dünnen Wand angebracht iſt, wächſt aber auf 0.6, wenn man die dünne Platte mit einer etwa 1 Zoll langen cylindriſchen Röhre vertauſcht. Eine coniſche Röhre gibt eine noch größere Geſchwindigkeit; die größte eine ſolche, deren äußere Durchmeſſer ſich wie 1 : 2 verhalten, und deren Länge den Durchmeſſer fünf- bis zehnmal übertrifft. Die Urſache dieſer Differenz zwiſchen der berechneten und der durch Verſuche gefundenen Geſchwindigkeit liegt ohne Zweifel in einer Zuſammenziehung des Luftſtrahles, welche der des Waſſerſtrahles (371) ähnlich iſt. D'Aubuiſſon hat den Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahles bei einer dünnen Wand gleich 0.65, bei einer cylindriſchen Anſatzröhre = 0.93, bei einer coniſchen = 0.95 von dem Querſchnitte der Oeffnung gefunden.

395. Auch die Bewegung der Gaſe in Röhrenleitungen ſtimmt mit der des Waſſers beinahe ganz überein. Girard und Cagniard-Latour haben mit mehreren Gaſen Verſuche hierüber angeſtellt (Mém. de l'Acad. 5. 383), und dabei gefunden, daß atmoſphäriſche Luft und Kohlenwaſſerſtoffgas, ungeachtet ihrer verſchiedenen Dichte, ſich in Röhren nach demſelben Geſetze bewegen und denſelben Widerſtand erleiden, und daß dieſer Widerſtand dem Quadrate ihrer mittleren Geſchwindigkeit proportionirt iſt. Die Gasmengen, welche Röhrenleitungen liefern, ſtehen im geraden Verhältniſſe mit dem Drucke, den ſie im Gasbehälter erleiden, und im verkehrten mit der Quadratwurzel der Länge der Leitungsröhren. Nur beim Ausfluß aus capillaren Oeffnungen zeigen Gaſe beſondere Eigenthümlichkeiten. Nach Faraday's Verſuchen (Quart. Journ of. sc. 3. 354; 7. 106 und Pogg. Ann. 28. 355) ſtrömt bei hohem Drucke ein beſtimmtes Volum Waſſerſtoffgas ſchneller aus, als öhlbildendes Gas, bei niederem aber findet das Gegentheil Statt, wenn der Ausfluß durch enge Röhrchen, dieſe mögen von Glas oder Metall ſeyn, geſchieht. Beim Ausfluß aus feinen, an Papier, Platinblechen ꝛc. gemachten Ritzen und Löchern findet dieſe Verſchiedenheit nicht Statt, ſie zeigt ſich aber deſto mehr, je langſamer die Gaſe ausſtrömen. Dieſes ſcheint nicht bloß von der Verſchiedenheit der Dichte der Gaſe abzuhängen, ſondern von irgend einer anderen mechaniſchen Eigenſchaft derſelben.

396. Wenn Luft aus einem Gefäße ausſtrömt, ſo ſucht der Druck auf die der Ausflußöffnung gegenüberſtehende Wand dieſelbe fortzubewegen. Iſt das Gefäß leicht nach der Richtung dieſes Druckes beweglich, ſo kann man ſich auch durch die wirklich eintretende

Bewegung vom Daſeyn eines ſolchen Druckes überzeugen. Das Zurückſtoßen der Gewehre und Kanonen beim Losfeuern, die Rotation der ſogenannten Schwärmer, das Steigen der Raketen ꝛc., beruht darauf.

397. Die Urſache, welche in einer Luftmaſſe eine Bewegung erzeugt, iſt Aenderung der Expanſivkraft, die ſelbſt wieder durch eine Aenderung der Dichte oder der Temperatur hervorgebracht wird. Daher kommt die Bewegung der Luft aus Blasbälgen, der Luftzug in Kaminen, bei Feuersbrünſten, der beſtändige Luftwechſel in unſeren Zimmern zur Winterszeit ꝛc.

398. Wenn verdichtete Luft aus einer Oeffnung ausſtrömt und einen gegenüberſtehenden Körper, z. B. eine leicht bewegliche Platte trifft; ſo ſollte man wohl erwarten, daß dieſe vom Luftſtrome fortgeſtoßen würde. Dieſes iſt auch wirklich der Fall, wenn der Ausfluß aus einer frei ſtehenden Röhre erfolgt; iſt aber an die Röhre nächſt der Ausflußöffnung eine Platte angeſteckt, der eine leichte Platte in geringer Entfernung gegenüber ſteht, beide von einem Durchmeſſer, welcher den der Oeffnung weit übertrifft; ſo wird dieſe Platte gegen die Oeffnung hingetrieben; nur bei größerer Entfernung der Platten geſchieht das Gegentheil, und die bewegliche Platte folgt dem aus der Röhre hervortretenden Luftſtrome. Dieſe Erſcheinung, welche man das aërodynamiſche Paradoxon nennen kann, hat denſelben Grund wie die Vermehrung der Ausflußmenge des Waſſers durch eine coniſche Anſatzröhre (376). Auch da fließt durch die ringförmige Oeffnung mehr Luft ab, als durch die enge Oeffnung an der Wand des Gefäßes vermöge des inneren Luftdruckes nachfolgen kann, und es würde ein luftleerer Raum zwiſchen der Wandöffnung und der Platte entſtehen, wenn die äußere Luft nicht die letztere gegen die Platte triebe und den ringförmigen Raum verminderte. Von der Wirklichkeit dieſes Herganges überzeugt man ſich mittelſt des Apparates (Fig. 143), wo die Ausflußröhre A ſeitwärts eine heberförmige, Queckſilber enthaltene Röhre a zur Beſtimmung der etwaigen Aenderung des Luftdruckes, und die Deckelplatte B eine eben ſolche b zu demſelben Zwecke hat, überdieß ſind aber noch an der Wand C, längs welcher die ausſtrömende Luft hinſtreicht, drei in Waſſer reichende Röhren angebracht. Beim Ausſtrömen von Luft zeigt die Bewegung des Queckſilbers in a und b, daß innerhalb dieſer Röhre der Luftdruck größer iſt als auswärts, aber in den Röhren c, d, e ſteigt das Waſſer und zwar in c mehr als in d, in d mehr als in e, zum Beweiſe, daß zwiſchen den Platten der Druck kleiner als von außen ſey.

Aehnliche Erſcheinungen bewirkt auch eine Vermehrung der Geſchwindigkeit eines ſtrömenden Gaſes, welche die der Druckhöhe entſprechende Größe überſchreitet: denn da wird der ſonſt auf die Gefäßwände nach auswärts gerichtete Druck in einen nach einwärts gerichteten verwandelt (377). Man ſieht dieß an dem Apparate Fig. 144. Dieſer beſteht aus einem Gefäße A B, an deſſen einem Ende B eine enge, am anderen A eine viel weitere Röhre angeſetzt iſt, während

unten eine heberförmige, Queckſilber enthaltende Röhre angebracht iſt. Bläſt man durch die weitere Anſatzröhre in das Gefäß, ſo ſteigt das Queckſilber im äußeren Heberſchenkel; thut man dieſes durch die engere Röhre, ſo ſinkt das Queckſilber in ſelbem. (Schweigg. Journ. 53. 304. Pogg. Ann. 15. 310.) Hieher gehören auch die Erſcheinungen, welche ein aus einer Röhre hervortretender, gegen eine Wand gerichteter Luftſtrom zeigt, die ſich mit Hülfe einer Lichtflamme nachweiſen laſſen, deren Richtung jene der bewegten Luft angibt. Wird z. B. ein Luftſtrom durch eine Röhre gegen eine Wand geblaſen, ſo weicht eine Lichtflamme gegen die Wand hin ab, und man findet ſo, daß nicht, wie man beim erſten Anblicke vermuthet hätte, der gegen die Wand geblaſene Luftſtrom von derſelben abprallt, ſondern vielmehr das Gegentheil erfolgt, daß aber der Luftſtrom längs der Wand hingleitet.

399. Der Druck, welchen bewegte Luft gegen ein Hinderniß ausübt, iſt im Allgemeinen wie jener des Waſſers (378) zu beurtheilen. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß man es mit einer ausdehnſamen Flüſſigkeit zu thun habe, die beim Anſtoßen verdichtet wird und ſich hierauf wieder ausdehnt, und ſowohl in dieſem als in jenem Falle gleich einem elaſtiſchen Körper auf den geſtoßenen Körper wirkt. Indeß iſt man hierin noch nicht, weder auf dem Wege der Rechnung, noch auf dem der Erfahrung, völlig ins Reine gekommen, und letztere lehrt oft ein Verhalten beim Stoße der Luft, das man aus unſeren theoretiſchen Unterſuchungen nicht abzuleiten im Stande iſt. Auf dem Geſetze des Luftſtoßes beruht die Richtung der Wetterfahnen, die der Segel eines Schiffes, die Zweckmäßigkeit im Baue der Pflanzen, welche Windſtöße auszuhalten haben ꝛc. ꝛc.

Siebentes Kapitel.

Bewegung durch Molecularkräfte.

400. Aus dem Vorhergegangenen iſt klar, daß die Theile jedes Körpers, er mag feſt, tropfbar oder ausdehnſam ſeyn, eine Verſchiebung aus der Lage ihres Gleichgewichtes vertragen, ohne von einander getrennt zu werden, ja daß ſie, wenn dieſe Verſchiebung eine gewiſſe Grenze nicht überſchreitet, wieder vollkommen in die frühere Gleichgewichtslage zurückkehren. Ein Theilchen A iſt dadurch an ſeine Lage gebunden, daß es in derſelben von der Umgebung nur ſolche Einwirkungen erfährt, die ſich gegenſeitig aufheben; wird es durch irgend eine Kraft aus ſeiner natürlichen Lage gebracht, ſo geht aus der Geſammtwirkung der umgebenden Theilchen eine Reſultirende hervor, die es wieder an die urſprünglichen Theile zurückzuführen ſucht. Iſt die beſagte Verſchiebung des Theilchens A nur klein, ſo kann man annehmen, daß die Kraft, welche es der Gleichgewichtslage zuzuführen ſucht, dem Abſtande von derſelben proportional ſey, gerade ſo, wie dieſes mit der Kraft der Fall iſt, welche

ein ſchweres, in einem ſehr kleinen Elongationsbogen ſchwingendes Pendel bewegt. Vermöge dieſer Kraft wird daher A (Fig. 148) ſich in ungleichförmig beſchleunigter Bewegung der Gleichgewichtslage zu bewegen, aber wenn es dieſelbe erreicht hat, wegen der ſchon erlangten Geſchwindigkeit nicht ruhen, ſondern in entgegengeſetzter Richtung gegen B′ hingehen. Da wird es aber von der Molecularkraft eben ſo verzögert, wie es in der vorher betrachteten Bewegung beſchleunigt worden iſt, mithin muß es ſich ungleichförmig verzögert bewegen, bis es den Weg A B′ = A B zurückgelegt hat. In B′ muß die in A erlangte Geſchwindigkeit durch die Geſammtwirkung der Molecularkräfte aufgehoben ſeyn und das Theilchen würde hier ruhen, wenn es nicht eben ſo wieder gegen A hingetrieben würde, wie dieſes in B der Fall war. Ein ſolches Theilchen oscillirt demnach zu beiden Seiten der Gleichgewichtslage auf dieſelbe Weiſe wie ein ſchweres Pendel. So lange nur eine Kraft wie die ſo eben betrachtete auf A wirkt, muß es in einer geraden Linie oscilliren, wird es aber von mehreren Kräften afficirt, deren jede eine Oscillation in einer anderen, nicht mit der erſteren parallelen Bahn zu erzeugen ſucht; ſo kann daraus eine Oscillation in einer krummen Bahn hervorgehen. Man betrachtet die Ellipſe als die allgemeine Form einer ſolchen Bahn und denkt ſich den Kreis als Ellipſe ohne Excentricität, und die gerade Linie als ſolche, deren kleine Axe = 0 iſt. Man nennt bei dieſen Schwingungen einen Hin- und Hergang des oscillirenden Theilchens eine Schwingung, während bei einem ſchweren Pendel ein Hin- oder Hergang dieſen Namen führt.

401. Die Elemente der durch Molecularkräfte unterhaltenen Bewegung führen beſondere Namen, die man kennen muß. Sind M und M′ Puncte der Bahn B A B′, in welcher das Theilchen A oscillirt, und die ſo gelegen ſind, daß A M = A M′ iſt; ſo hat das Theilchen in M und M′ ſtets dieſelbe Geſchwindigkeit, nur ſind die Richtungen desſelben bei zwei unmittelbar auf einander folgenden Durchgängen durch M oder M′ einander entgegengeſetzt. Der Punct der Bahn, worin ein Körpertheilchen ſich in einem Augenblicke befindet, in Verbindung mit der Richtung, nach der es ſeine Bewegung fortſetzt, beſtimmt den dieſem Zeitpuncte entſprechenden Bewegungszuſtand oder die Phaſe des Theilchens; die von einem beſtimmten Augenblicke an gezählte Zeit, nach welcher eine gegebene Phaſe Statt hat, heißt die Phaſenzeit; die Zeit, welche zwiſchen dem Eintreten zweier unmittelbar auf einander folgender gleicher Phaſen verfließt, iſt die Dauer einer Schwingung (Undulationszeit); der größte Abſtand des Theilchens von ſeiner Gleichgewichtslage, nämlich A B = A B′ heißt die Schwingungsweite (Amplitude), und die größte Geſchwindigkeit, die das Theilchen während ſeiner Schwingung erreicht, nämlich diejenige, mit der es in A ankommt, die Intenſität der Schwingung. Phaſen, in welchen ein Körpertheilchen ſich rückſichtlich ſeiner Gleichgewichtslage in entgegengeſetzten Stellungen, wie z. B. M und M′ ſind, befindet, und zugleich entgegengeſetzte Bewe-

gungsrichtungen hat, mithin gleiche und entgegengeſetzte Geſchwindigkeiten beſitzt, heißen entgegengeſetzte Phaſen, und ſind um die Hälfte einer Schwingungsdauer (im Allgemeinen um ein ungerades Vielfache einer halben Schwingungsdauer) von einander entfernt. Aehnliche Benennungen ſind auch auf den Fall anwendbar, wenn das Theilchen in einer elliptiſchen Bahn ſich bewegt. Es ſey, (Fig. 149) $BMB'M'$ eine ſolche, BB' ihre größere, CC' ihre kleinere Axe, A ihr Mittelpunct: ſo iſt $AB = AB'$ die Schwingungsamplitude, die Geſchwindigkeit in C oder C' iſt die Schwingungsintenſität, und das Theilchen erſcheint, wenn es ſich in den Endpuncten M, M' eines Durchmeſſers der Bahn befindet, in entgegengeſetzten Phaſen. Geht die Bewegung in dem Sinne $CMBM'$ vor ſich, ſo iſt ſie in den Quadranten CB, $C'B'$ eine verzögerte, in den Quadranten BC', $B'C$ aber eine beſchleunigte. Bewegt ſich ein Körpertheilchen in einem Kreiſe, ſo iſt ſeine Bewegung gleichförmig, der Halbmeſſer der Bahn beſtimmt die Schwingungsamplitude und die Geſchwindigkeit gibt die Intenſität der Bewegung an.

402. Um die Elemente der Bewegung, von welcher hier die Rede iſt, kennen zu lernen, wollen wir auf 347 zurückkehren. Das ſchwere Pendel AB (Fig. 120) von der Maſſe m wird in der Elongation $GAB = \beta$ durch die Kraft $gm.\sin.\beta$ beſchleuniget. Heißt l die Pendellänge und x die von G auf AB ſenkrechte GK, ſo iſt $\sin\beta = \frac{GK}{AG} = \frac{x}{l}$ und daher die beſchleunigende Kraft $\frac{m\,g\,x}{l}$ (1). Iſt der Ausſchlagwinkel $CAB = \alpha$ ſehr klein, ſo kann man die Bahn CBH als gerade Linie BB' (Fig. 148) betrachten, deren Halbirungspunct A die Lage des Gleichgewichtes bezeichnet, und annehmen, die beſchleunigende Kraft ſei in M dem Abſtande $AM = x$ der bewegten Maſſe von der Abweichung aus der Gleichgewichtslage A proportionirt, die Beſchleunigung möge nun von der Schwere oder von einer Molecularwirkung herrühren. Zugleich hat man da, wenn $AB = AB' = a$ heißt, $\alpha l = a$. Die beſchleunigende Kraft in M wird nun mhx heißen, wobei h eine conſtante, von der Molecularaction abhängige Größe iſt, falls es ſich um eine durch Molecularkräfte bewirkte Oscillation handelt. Wählt man in (1) l ſo, daß man hat $\frac{g}{l} = h$, ſo erhält man für die beſchleunigende Kraft der durch die Schwere oscillirenden Maſſe denſelben Ausdruck, wie für die durch Molecularwirkung in Bewegung erhaltene, und in beiden Fällen muß die Bewegung nach denſelben Geſetzen vor ſich gehen. Von erſterer Bewegung iſt bewieſen, daß ihre Geſchwindigkeit gleich ſey der mit BB' parallelen Componente der Geſchwindigkeit einer Maſſe, die ſich gleichförmig in einem Kreiſe vom Durchmeſſer BB' mit der Geſchwindigkeit $\alpha\sqrt{gl}$ bewegt, und eben dieſes wird demnach auch von der durch Molecularkräfte oscillirenden gelten müſſen, wenn man für α und l die Relation $\alpha l = a$ und $\frac{g}{l} = h$ einführt. Iſt BSB' (Fig. 121) dieſer Kreis, und man zieht AS auf BB' ſenkrecht, ſo muß

das oscillirende Theilchen M die Geſchwindigkeit $v = \alpha \sqrt{gl}\,.\cos ONP$ haben, welcher Ausdruck wegen $ONP = NAS = \varphi$ übergeht in $v = \alpha \sqrt{gl}.\cos.\varphi$. Setzt man nun für α den Werth $\frac{a}{l}$ und für $\frac{g}{l}$ den Werth h, ſo wird

$$v = \sqrt{\frac{g}{l}}.\cos\varphi = \sqrt{h}.\cos\varphi. \quad (2)$$

Der Weg $AM = x$ läßt ſich aus dem Dreiecke ANM finden, wo man hat: $x = a\cos\varphi$ (3)

Nennt man t die Zeit, in welcher das Bewegliche von A nach M kommt und welche derjenigen gleich iſt, in welcher der Kreisbogen SN mit der Geſchwindigkeit $\alpha\sqrt{gl} = a\sqrt{h}$ durchlaufen wird; ſo hat man: $NS = ta\sqrt{h}$ oder da $NS = a\varphi$ iſt: $\varphi = t\sqrt{h}$. Dieſen Ausdruck in (2) und (3) ſubſtituirt gibt:

$$x = a.\sin(t\sqrt{h}); \quad v = a\sqrt{h}.\cos(t\sqrt{h}) \quad (4).$$

Wird die Dauer einer Schwingung mit T bezeichnet, ſo iſt $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{h}}$ und $\sqrt{h} = \frac{2\pi}{T}$, und daher wenn man $\frac{2\pi a}{T} = c$ ſetzt

$$x = a\sin.\left(2\pi\frac{t}{T}\right); \quad v = c\cos.\left(2\pi\frac{t}{T}\right). \quad (5).$$

403. Aus dieſen Formeln ergeben ſich ſehr wichtige Reſultate in Hinſicht auf die Zuſammenſetzung der ſchwingenden Bewegungen. Wir beſchränken uns hier auf folgende zwei: 1) Iſt ein ſchwingendes Theilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Bewegungen von einerlei Schwingungsdauer unterworfen, deren Richtungen einen Winkel bilden und deren Phaſen übereinſtimmen; ſo entſpringt daraus wieder eine geradlinige Schwingung von derſelben Dauer, deren Amplitude und Schwingungsintenſität durch die Diagonale der Amplituden und Schwingungsintenſitäten der Componenten ausgedrückt wird. Es ſey nämlich AB, (Fig. 150), die Amplitude und Richtung der einen, AB′ jene der andern Componente, ſo erreicht das oscillirende Theilchen, weil es den Componenten zu Folge in demſelben Augenblicke in B und B′ geweſen wäre, durch das Zuſammenwirken beider in dieſem Augenblicke den Endpunct C der Diagonale des Parallelogramms, deſſen Seiten AB und AB′ ſind. Es beſchreibt aber auch dieſe Diagonale; denn befindet es ſich am Ende der Zeit t den Componenten gemäß in M und M′, ſo iſt

$$AM = AB\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),\ AM' = AB'\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),$$

mithin $AM : AM' = AB : AB'$. Es liegt daher der Endpunct N der Diagonale AN des Parallelogramms, deſſen Seiten AM und AM′ ſind, mit A und C in einerlei Richtung. 2) Iſt ein ſchwingendes Theilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Schwingungen von einerlei Dauer unterworfen, deren Amplituden, mithin auch die Schwingungsintenſitäten gleich ſind, deren Phaſenzeiten aber um ein Viertel der Schwingungsdauer unterſchieden ſind und deren Richtungen einen

rechten Winkel bilden; ſo iſt die reſultirende Schwingung eine kreisförmige, deren Halbmeſſer die gemeinſchaftliche Amplitude iſt, und welche mit einer der gemeinſchaftlichen Schwingungsintenſität gleichen Geſchwindigkeit vor ſich geht. Es ſeyen A M und A M′, (Fig. 151), die Abſtände des Körpertheilchens von der Ruhelage A in Folge der beiden Bewegungen; t, t′, die Phaſenzeiten, ſo iſt

$$AM = a\,sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),\ AM' = a\,sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right).$$

Aber es ſoll $t' - t = \frac{1}{4}T$, d. h. $t' = \frac{1}{4}T + t$ ſeyn; dieß gibt

$$AM' = a\,sin\left(\frac{\pi}{2} + 2\pi\frac{t}{T}\right) = a\,cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right),$$

mithin $AN^2 = AM^2 + MN^2 = AM^2 + AM'^2 = a^2$, daher $AN = a$. Es iſt alſo der Abſtand des Körpertheilchens vom Puncte A während der ganzen Bewegung unveränderlich und $= a$, wodurch erwieſen iſt, daß es einen Kreis vom Halbmeſſer a beſchreibt. Eben ſo läßt ſich zeigen, daß die Geſchwindigkeit der Bewegung $= c$ iſt. Beträgt der Phaſenunterſchied der Componenten mehr oder weniger als ein Viertel der Schwingungsdauer oder ſind die Amplituden derſelben ungleich, ſo entſteht eine elliptiſche Schwingung.

404. Die Verſchiebung eines durch Molecularkräfte im Gleichgewichte erhaltenen Theilchens aus ſeiner Gleichgewichtslage hat immer eine Störung des Gleichgewichts der dasſelbe umgebenden Theilchen zur Folge, weil dadurch die Gleichheit der einander entgegengeſetzten Wirkungen, auf denen das Gleichgewicht der letzteren beruhet, aufgehoben wird. Die ſo mittelbar bewegten Theilchen verurſachen wieder eine Bewegung in ihrer Umgebung und ſo kommt es, daß ſich die durch eine äußere Urſache bewirkte Verrückung eines Theilchens bis zu den entfernteren Theilchen fortpflanzt ſo, daß letztere noch in Bewegung ſeyn können, wenn auch das urſprünglich bewegte Theilchen ſchon zur Ruhe gekommen iſt. Den zuerſt durch eine äußere Veranlaſſung bewegten Theilchen und ihrer nächſten Nachbarſchaft iſt die Bewegung gleichſam aufgedrungen und dieſelbe muß die Spuren der bewegenden Urſache an ſich tragen; je weiter ſich aber dieſe Bewegung in einem Syſtem von Theilchen fortgepflanzt hat, deſto mehr verliert ſich der aufgedrungene Zuſtand und deſto mehr tritt jene Bewegung ein, welche durch die Molecularaction der Theilchen allein beſtimmt wird. Die Fortpflanzung einer einfachen ſchwingenden Bewegung der Theilchen in einem Mittel erſcheint als einfache Uebertragung der Bewegung der bewegten Theilchen an die in der Richtung der Fortpflanzung zunächſt folgenden. Demnach geht die Phaſe eines ſolchen Theilchens auf das in der beſagten Richtung folgende mit gleichförmiger Geſchwindigkeit über, die Bahnen, welche die Theilchen beſchreiben, bleiben ſich ähnlich, wenn ſie auch mit wachſender Entfernung vom Urſprunge der Bewegung kleiner werden.

405. Alles ſo eben Geſagte wird deutlicher werden durch Betrachtung der Fortpflanzung eines Impulſes in einem cylindriſchen oder prismatiſchen Luftkörper von geringem Querſchnitte aber großer Länge. Zu dieſem Ende ſey A Z (Fig. 152) ein Luftcanal, und es werde auf die Fläche A A ein Stoß ausgeübt, der ſie beſtimmt, in der Richtung A Z fortzurücken und in einer beſtimmten aber ſehr kurzen Zeit nach B B zu kommen. So wie A A ſeine Bewegung beginnt, ſtoßt es auf die nächſten Theilchen der Luft und wenn dieſe nicht ſo ſchnell ausweichen können als A A andringt, ſo erleiden ſie eine Zuſammendrückung. Dadurch erlangen aber die zuſammengedrückten Theilchen die Kraft, wieder die in der Richtung gegen A Z angrenzenden Theilchen zu verſchieben, ſie wieder zuſammenzudrücken und ſie demnach zu befähigen, die Verſchiebung von A gegen Z weiter fortzupflanzen. Die Kraft, welche das Fortſchreiten der Verſchiebung längs A Z beſtimmt, iſt der Unterſchied der Elaſticitäten zu beiden Seiten der eben in Bewegung befindlichen Fläche und da dieſer Unterſchied wegen der Gleichheit der Umſtände längs der ganzen Ausdehnung von A Z überall derſelbe iſt, ſo muß dieſe Fortpflanzung in gleichförmiger Bewegung vor ſich gehen. Sie hat Aehnlichkeit mit der eines Stoßes in einer Reihe elaſtiſcher Kugeln von gleicher Maſſe, und ſo wie da jede Kugel ihre Bewegung an die benachbarte abgibt und ſelbſt in Ruhe kommt, eben ſo geht es mit den an einander grenzenden Luftſchichten. Jedes zuſammengedrückte Theilchen übt zwar nicht bloß nach der Richtung A Z einen Druck auf die benachbarten Theile aus, ſondern auch nach der entgegengeſetzten; allein nur nach erſterer hat dieſer Druck die Fortpflanzung der Bewegung zur Folge; in der entgegengeſetzten Richtung hebt dieſer Druck bloß das Beſtreben der angrenzenden Theile nach vorwärts auf und verſetzt ſie ſomit in Ruhe. Da jede Geſchwindigkeit und Verdichtung, die der Fläche A A beim Uebergang von A A nach B B zukommen, auch eine entſprechende in den benachbarten Theilchen erzeugt und dieſe wieder ſich eben ſo verhalten gegen die an ſie grenzenden; ſo müſſen alle Bewegungsphaſen der Fläche A A beim Uebergange in die Lage B B auch jeder Fläche längs der ganzen Säule A Z zukommen, mit dem Unterſchiede, daß dieſelben in einer beſtimmten Fläche deſto ſpäter eintreten, je weiter dieſe von A A entfernt iſt. Befolgen demnach die Bewegungsphaſen der Fläche A A beim Uebergange in die Poſition B B ein beſtimmtes Geſetz, ſo muß ſich dieſes in den Schichten ausſprechen, welche in irgend einer Stelle längs A Z gleichzeitig in Bewegung ſind. Hat ſich die Bewegung, welche der A A beim Beginn der Bewegung eigen war, in einer beſtimmten Zeit bis N N, jene, die ihr in der Lage B B eigen war, in derſelben Zeit bis P P fortgepflanzt; ſo iſt P N der Weg, um welchen ſich die Verſchiebung in der Luft in derſelben Zeit, in welcher A A nach B B gekommen iſt, fortpflanzt, und in der Schichte P P N N kommen alle Bewegungsphaſen der A A vor.

Kehrt die urſprünglich bewegte Fläche von B B nach A A zurück, ſo erzeugt ſie in der Richtung Z A eine Verdünnung der Luft-

theilchen, welche dieſelben beſtimmt, eben ſo gegen A A hinzurücken, wie ſie vorhin gegen Z hin verſchoben worden ſind, aber die Fortpflanzung der Bewegung erfolgt nach den gleichen Geſetzen, wie die zuerſt betrachtete Verſchiebung in der Richtung A Z. In der Zeit, in welcher B B nach A A zurückkehrt, iſt die Bewegung aus der Schichte P N in N M übergegangen und es ahmet P N die rückgängige Bewegung der Fläche B B nach A A in allen Phaſen nach. Demnach hat ein Hin und Hergang von A nach B und umgekehrt, d. h. eine Schwingung von A A, in einer beſtimmten Zeit alle ſeine Phaſen an P M übertragen. Dieſes Stück P M ſtellt demnach die erzeugte Luftwelle und zwar die Länge derſelben vor. Der Theil N M iſt ihr verdichteter, der Theil P N ihr verdünnter Theil. Legt A A, einem oscillirenden Pendel ähnlich, ſowohl beim Hin- als beim Rückgange die erſte Hälfte des Weges A B in beſchleunigter, die andere in verzögerter Bewegung zurück, und hat ſich die Verſchiebung der Theilchen während des erſten Viertels einer Schwingung der A A von P bis R, während der zweiten bis N, während der dritten bis Q und während des vierten bis M fortgepflanzt; ſo hat N M in M und N die natürliche, in Q aber die größte Dichte, ſo daß dieſe von Q gegen die Enden M und N hier immer kleiner wird. Auf gleiche Weiſe hat der an den verdichteten Theil N M ſich unmittelbar anſchließende verdünnte Theil P N der Welle in N und P die natürliche Dichte und die kleinſte Geſchwindigkeit, in der Mitte bei R aber die kleinſte Dichte (größte Verdünnung) und die größte Geſchwindigkeit. Der verdichtete Theil N M und der verdünnte P N der Welle P M haben ſtreng genommen nicht gleiche Längen; erſterer iſt um die ganze Excurſion A B kleiner, als der Weg, den die Verdichtung der Luft während des Hinganges von A A nach B B zurücklegt, letzterer um eben ſo viel größer, als der Weg der Verdünnung der Luft während des Zurückgehens von B B nach A A. Die Länge P M der ganzen Welle iſt demnach dem Wege genau gleich, den die Verdichtung (oder Verdünnung) der Luft während eines Hin- und Herganges des Stempels durchlauft. Vollbringt demnach die Fläche A A eine Schwingung in der Zeit t und iſt v die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der von ihr herrührenden Impulſe in der Luft, l die Länge der Welle P M, ſo iſt $l = vt$. Macht A A bloß eine Bewegung in dem Sinne A B ohne zurückzugehen, ſo findet keine verdünnte, ſondern bloß eine verdichtete Welle Statt; eben ſo entſteht bloß eine verdünnte Welle, wenn man bloß eine Bewegung im Sinne B A vorausſetzt. Denkt man ſich die A A in einer nach beiden Seiten ſich erſtreckenden Luftſäule und läßt es eine Bewegung nach B B vollbringen, ſo entſteht gleichzeitig nach der einen Seite hin eine verdichtete, nach der andern eine verdünnte Welle.

406. Aus dem ſo eben Erklärten geht hervor, daß die Fortpflanzung eines Impulſes in einem gleichförmig dichten elaſtiſchen Medium durch den ungleichen Druck bewirkt wird, den die an der Bewegung Theil nehmenden Partikel gegen vorwärts und rückwärts erleiden. Es

ſey A Z (Fig. 153) das von parallelen Wänden eingeſchloſſene Medium der beſagten Art, deſſen Querſchnitt $=1$ geſetzt wird, und B, C, D drei von einander gleich weit abſtehende Schichten im Zuſtande der Ruhe, ferner P, R, N der Ort derſelben in irgend einem Augenblicke, wo ſie an der Fortpflanzung des Impulſes Theil nehmen. Dieſe Fortpflanzung wird nach der Richtung PN erfolgen, wenn der Druck der Schichte RN auf R kleiner iſt, als jener der Schichte PR, welches wieder der Fall ſeyn wird, wenn $RN > PR$. Iſt h der Barometerſtand, g die Acceleration der Schwere, ſo bedeutet hg das Maß der Expanſivkraft der Luft für den Querſchnitt $=1$ in den Schichten B, C, D, mithin den Druck der Schichte BC auf C. Die Schichte PR drückt in dem Maße ſtärker auf R wie BC auf C, in welchem Verhältniſſe PR kleiner als BC iſt. Der Druck auf R iſt demnach $= gh\left(\frac{BC-PR}{BC}\right)$ oder wenn man $BC = CD = \lambda$ ſetzt, gleich $\frac{gh}{\lambda}(\lambda - PR)$. Auf gleiche Weiſe findet man den Druck der Schichte RN auf R gleich $\frac{gh}{\lambda}(\lambda - RN)$ und der Druck P, mit welchem R vorwärts getrieben wird, iſt demnach gleich

$$\frac{gh}{\lambda}(\lambda - PR) - \frac{gh}{\lambda}(\lambda - RN) \text{ oder } P = \frac{gh}{\lambda}(RN - PR) \qquad (1)$$

und dieſes iſt die Kraft, welche die Schichte RN in dem Zeitpuncte beſchleuniget, welchen man eben betrachtet. Dieſe Kraft läßt ſich aber auch nach der allgemeinen Theorie der beſchleunigenden Kräfte finden. Nach (23) iſt $P = MG$, wo M die beſchleunigte Maſſe, G die ihr in einer Zeiteinheit ertheilte Geſchwindigkeit bedeutet. Wird dieſer Maſſe M in der unendlich kleinen Zeit τ die Geſchwindigkeit γ ertheilt, ſo hat man $G : \gamma = 1 : \tau$ und daher $G = \frac{\gamma}{\tau}$ woraus dann folgt $P = \frac{M\gamma}{\tau}$. Nun denke man ſich die Schichte R um ein Zeittheilchen τ früher in ρ und um ein eben ſolches Zeittheilchen τ ſpäter in ρ', und es ſind $R\rho$ und $R\rho'$ die Wege, welche mit den Geſchwindigkeiten $\frac{R\rho}{\tau}$ und $\frac{R\rho'}{\tau}$ von der Schichte R durchlaufen werden; demnach iſt der Zuwachs der Schichte R an Geſchwindigkeit $= \frac{R\rho' - R\rho}{\tau} = \gamma$. Iſt D die Dichte der Schichte von der Länge λ, ſo drückt $D\lambda$ deren Maſſe aus, oder es iſt $D\lambda = M$. Demnach erhält man $P = \frac{D\lambda}{\tau^2}(R\rho' - R\rho)$. (2). Es wird daher aus (1) und (2)

$$\frac{D\lambda}{\tau^2}(R\rho' - R\rho) = \frac{hg}{\lambda}(RN - PR). \qquad (3).$$

Iſt nun λ der Weg, den die durch den Impuls erregte Welle in der Zeit τ zurücklegt, und c die Geſchwindigkeit, mit der dieſes geſchehen iſt, ſo hat man $c = \frac{\lambda}{\tau}$. Aber dann müſſen in dieſer Zeit auch alle Bewegungsphaſen aus BC nach CD übergegangen ſeyn und während mit dem Beginn des Zeittheilchens τ die Bewegung im Begriffe iſt, durch C in die Schichte CD einzudringen, hat ſie am Ende derſelben die Schichte BC ganz verlaſſen; darum hat man $CD = \rho N$ und $BC = P\rho'$, woraus dann folgt:

$C\rho = DN$ und $BP = C\rho'$. Darum iſt aber auch $RN = DN - DR = C\rho - DR$; $PR = BR - BP = BR - C\rho'$ und $RN - PR = C\rho - DR + C\rho' - BR = R\rho' - R\rho$. Somit wird aus (3)

$$\frac{D\lambda}{\tau^2} = \frac{hg}{\lambda} \text{ oder } \frac{\lambda^2}{\tau^2} = \frac{hg}{D}$$

und daher, weil $\frac{\lambda^2}{\tau^2} = c^2$ iſt

$$c = \sqrt{\frac{hg}{D}}. \quad (4)$$

hg iſt zugleich der Ausdruck der Elaſticität E des Mediums und ſomit iſt auch $c = \sqrt{\frac{E}{D}}$. Denkt man ſich nun den Druck, unter welchem eine Säule von der Höhe = 1 ſteht, um ihr eigenes Gewicht Dg vermehrt und dadurch an dieſer Säule die Verkürzung k hervorgebracht; ſo iſt $E : E + Dg = 1 - k : 1$ und $\frac{E}{D} = \frac{1-k}{k} . g$. Somit wird $c = \sqrt{\frac{1-k}{k} . g}$, welchen Ausdruck man wegen Kleinheit von k im Vergleiche mit 1 auch ſo gelten laſſen kann

$$c = \sqrt{\frac{g}{h}} \quad (5).$$

Sowohl die Formel (4) wie (5) bezieht ſich nur auf eine beſtimmte Temperatur. Gelten nämlich c und D für 0° C. und gehen dieſe Größen für die Temperatur t in c′ und D′ über; ſo iſt $D' = \frac{D}{1+\alpha t}$ wenn α den Ausdehnungscoefficienten des Mittels bedeutet, wornach man hat

$$c' = \sqrt{\frac{E(1+\alpha t)}{D}} = c\sqrt{(1+\alpha t.)} \quad (6).$$

407. Was in einer cylindriſchen Luftſäule vorgeht, deren Theile in der Längenrichtung verſchoben worden ſind, dasſelbe kann auch in freier Luft bei beliebiger Erſchütterung eines Theilchens derſelben Statt finden. Man denke ſich in einem Raume eine Exploſion, z. B. durch Knallluft, ſo werden die Lufttheile auswärts getrieben, und gehen ſo-

dann, den entſtandenen leeren Raum ausfüllend, wieder einwärts. Von jedem Puncte der Begrenzung dieſes Raumes geht auf dieſe Weiſe ringsum eine Verdichtung und Verdünnung aus, die, wenn die Luft nach allen Richtungen von einerlei Beſchaffenheit iſt, allenthalben nach der normalen Richtung gleich ſchnell fortſchreitet, jeder dieſer Puncte erzeugt alſo eine oder mehrere kugelförmige Wellen, deren Mittelpunct er iſt, je nachdem er bloß einmal oder mehrere Male auf die Luft einwirkt. Die Bewegung der Lufttheilchen in jeder ſolchen Welle geſchieht nach der Richtung des Halbmeſſers hin und her, jede Seitenbewegung wird durch den Widerſtand der in gleichem Zuſtande der Verdichtung oder Verdünnung befindlichen Lufttheilchen verhindert. Jede einzelne Welle iſt dem gemäß als eine hohle, von concentriſchen Flächen umſchloſſene Kugelſchale anzuſehen, wovon jede ſelbſt wieder aus zwei concentriſchen Theilen beſteht, in deren einem die Luft verdichtet, im anderen verdünnt iſt. Alle von den einzelnen Puncten der Begrenzung des Raumes, wo die Erregung der Bewegung Statt fand, ausgehenden Wellen (Elementarwellen) ſetzen ſich zu einer einzigen (wirkſamen) Welle zuſammen, welche gleichſam alle einzelnen in ſich enthält, und, wenigſtens in größerer Entfernung von dieſem Raume im Vergleiche mit ſeinen Dimenſionen als eine Kugelſchale betrachtet werden darf, als deren Centrum irgend ein Punct des genannten Raumes gelten kann. Die Dicke einer ſolchen Schale iſt die Länge der Welle. Dieſe ändert ſich während ihrer Erweiterung nicht, ſondern es nimmt nur die Größe der Verdünnung oder Verdichtung ab. Wenn man ſich innerhalb der beiden Grenzflächen einer ſolchen Welle eine mit ihr concentriſche Kugelfläche denkt, ſo ſind alle auf ihr befindlichen Theile in demſelben Grade verdichtet oder verdünnt, es kann daher kein Theil derſelben ſeitwärts ausweichen und eben ſo wenig zurückgehen; daher bleibt nur die Bewegung nach vorwarts und rückwärts übrig, und jedes Theilchen pflanzt ſeine Bewegung nach der Richtung eines Halbmeſſers der Kugelfläche fort. Findet nach einzelnen Richtungen eine ſchnellere Fortpflanzung Statt als nach der andern; ſo hört die Geſtalt der Welle auf, einer Kugelfläche anzugehören. Auf ſolche Weiſe können ellipſoidiſche Wellen entſtehen.

408. An einem Körper, deſſen Längendimenſion gegen die Dicke und Breite bedeutend vorwaltet, wie z. B. an einem geſpannten Seile oder einer Saite, kann ſich ein transverſal angebrachter Stoß nach der Länge des Körpers fortpflanzen, indem er transverſale, vom Orte des Impulſes aus fortrückende Wellen bildet. Es ſey A B (Fig. 121a) eine geſpannte, gleichförmig dicke Saite, welche in d nach der Richtung d b einen Stoß erhält, der das Stück a c nöthiget, die Krümmung a b c anzunehmen (die aber in der Zeichnung aus zwei geraden Stücken a b, b c zuſammengeſetzt dargeſtellt wird). Natürlich muß nun in b ein Beſtreben entſtehen, das ſich als Kraft b a und b c kund gibt. Jede derſelben läßt ſich in eine mit A B parallele und in eine darauf ſenkrechte zerlegen und die Componenten der erſteren Kraft nämlich der b a werden b k und b d, die der letzteren b l und b d

ſeyn. bk und bl heben ſich gegenſeitig auf, indem b nicht in der Richtung kl oder lk fortrücken ſoll, und es erübriget demnach nur die doppelte Kraft bd, welche das Stück abc gegen ac hintreibt. Aber die Spannung der Saite hat zur Folge, daß ſich kein Theil derſelben bewegen kann, ohne einen benachbarten in Bewegung zu ſetzen. Somit wird durch die Ausbeugung des Stückes adc nach abc auch c zur Bewegung beſtimmt, und muß mit derſelben Kraft nach b wie nach h gezogen werden. Den Zug nach b kann man in den nach cg und in den darauf ſenkrechten ce, jenen nach ch in den nach cf und wieder in den darauf ſenkrechten nach ce zerlegen. Die Kräfte nach cg und cf heben ſich auf und es bleibt nur der doppelte nach ce wirkende Zug übrig, der zur Folge hat, daß das Stück dch in die Lage deh kommt. In h gilt wieder das, was ſo eben von c geſagt wurde und ſomit muß die Ausbeugung von a gegen B fortrücken. Was aber vom Puncte c geſagt wurde, gilt eben ſo vom Puncte a, ſobald er vom Anheftungspuncte verſchieden iſt und es muß ſich demnach die Ausbeugung zu beiden Seiten gegen die Anheftungspuncte A und B hin fortpflanzen.

409. Um die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit einer transverſalen Welle zu finden, ſeyen pq, pr gleiche Theile der Saite AB in einer Stellung, in welcher ſie ſich in irgend einem Augenblicke ihrer Bewegung befinden. Man ziehe von p, q und r die auf AB ſenkrechten ps, qt, ru; dann ſind s, t, u die Poſitionen der Theile p, q, r in der Lage des Gleichgewichtes und es iſt bei der Ausbeugung st in pg, tu in qr übergegangen. Entfernen ſich die Theile pq, qr nur wenig aus der Lage des Gleichgewichtes, ſo ſind auch pq und qr nur ſehr wenig von st und tu oder wenn man von p und r die auf qt ſenkrechten pv und rw zieht, von dieſen Linien verſchieden, auch iſt es geſtattet, wenn st und tu ſehr klein ſind, das Stück pqr als aus den geraden Linien pq und qr gebildet anzunehmen. Die Spannung E der Saite in der Ruhelage wird ferner durch die Ausbeugung nicht merklich geändert und man kann annehmen, daß ſie auch, nachdem die Theile st, tu nach pq, qr gekommen ſind, dieſelbe Größe habe.

Nach dem Vorhergehenden laſſen ſich die nach qp und qr wirkenden Kräfte, deren jede = E iſt, in die mit AB parallelen $E \cdot \frac{st}{pq}$ und $E \cdot \frac{ut}{rq}$ und in die darauf ſenkrechten $E \cdot \frac{qv}{pq}$ und $E \cdot \frac{qw}{qr}$ zerlegen. Die erſteren heben ſich auf, weil der Punct q nicht aus der Geraden qt heraustreten ſoll, die letztern hingegen geben als Reſultirende $E\left(\frac{qv}{pq} - \frac{qw}{rq}\right)$, welche, da $\frac{qv}{pq}$ von $\frac{qv}{st}$ und $\frac{qw}{rq}$ von $\frac{qw}{tu}$ nur unmerklich abweicht und st = tu durch λ bezeichnet werden kann, die Formen $\frac{E}{\lambda}(qv - qw)$ annimmt. Iſt τ die Zeit, in welcher die Aus-

beugung den Weg λ zurücklegt, ſo iſt um das Zeittheilchen τ früher als der Punct t nach q gekommen iſt, derſelbe in v und um eben ſo viel ſpäter in w, weil $tv = sp$ und $tw = ur$ iſt. Demnach durchlauft q die Wege qv und qw mit den Geſchwindigkeiten $\frac{qv}{\tau}$ und $\frac{qw}{\tau}$, das Stück pq iſt um die Größe $\frac{qv - qw}{\tau}$ beſchleuniget worden und die beſchleunigende Kraft iſt $\frac{(qv - qw)}{\tau^2}\mu$ wenn μ die Maſſe des fraglichen Stückes pq bedeutet. Man hat demnach

$$\frac{E}{\lambda}(qv - qw) = \frac{\mu}{\tau^2}(qv - qw) \text{ oder } \frac{E}{\lambda} = \frac{\mu}{\tau^2}.$$

Hat die Saite die Länge l und die Maſſe m, ſo iſt

$$\mu = \frac{m\lambda}{l} \text{ und ſomit } \frac{E}{\lambda} = \frac{m\lambda}{l\tau^2} \text{ oder } \frac{El}{m} = \frac{\lambda^2}{\tau^2}$$

und wenn man die Geſchwindigkeit, mit welcher ſich die transverſale Welle fortpflanzte c nennt, $\frac{El}{m} = c^2$ oder $c = \sqrt{\frac{El}{m}}$ (1)

Will man die Spannung E durch eine Maſſe M ausdrücken, ſo hat man $E = Mg$ und hieraus $c = \sqrt{\frac{gMl}{m}}$ oder wenn man M und m durch die Gewichte P und p repräſentiren läßt,

$$c = \sqrt{\frac{gPl}{p}}. \quad (2).$$

410. Eine ſchiefe Ausbeugung muß ſich an einer geſpannten Saite in eine longitudinale und in eine transverſale Welle ſpalten, weil ſich Schwingungen der einen und der andern Art an der Saite nicht gleich ſchnell fortpflanzen. Eben ſo findet in jedem elaſtiſchen Körper, allgemein zu reden, eine Theilung der Bewegung Statt, weil ein ſolcher Körper nicht geeignet iſt, jede Art von Verſchiebung ſeiner Theilchen auf einerlei Weiſe fortzupflanzen, ja es gibt Fälle, in welchen er zur Fortpflanzung gewiſſer ſchwingenden Bewegungen gar nicht geeignet erſcheint. Alles dieſes hängt von der Anordnung der materiellen Theilchen in Hinſicht auf ihre Maſſen, ihre Diſtanzen, und die Kräfte, denen ſie unterliegen, ab, was durch neuere analytiſche Unterſuchungen, wie ſie Fresnel und beſonders Cauchy angeſtellt haben, in volles Licht geſetzt worden iſt. Unkryſtalliniſche Subſtanzen, wie auch nach dem teſſularen Syſteme kryſtalliſirte Stoffe ſind ſo gebildet, daß eine Verſchiebung der Theilchen, die darin fortgepflanzt wird, ſich nach allen Richtungen mit gleicher Geſchwindigkeit verbreitet, d. h. das Medium beſitzt nach allen Richtungen einerlei Elaſticität. In kryſtalliſirten Subſtanzen, deren Grundgeſtalt vom Würfel abweicht, pflanzen ſich ſchwingende Bewegungen derſelben Art nach verſchiedenen Richtungen mit verſchiedener Geſchwin-

digkeit fort, und ſolche Stoffe zeigen demnach eine **veränderliche** Elaſticität. Begreiflich hat dieſer Umſtand auf die Geſtalt der Fläche, welche die Orte der gleichzeitigen Ankunft der von einer erſchütterten Stelle ausgehenden Vibrationen mit einander verbindet, welche Fläche man die **Wellenfläche** nennt, einen großen Einfluß. Nur in ſo fern die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit nach allen Richtungen dieſelbe Größe hat, entſteht eine **ſphäriſche Welle**. Im Allgemeinen bleibt die Geſtalt der Wellenfläche während ihrer Ausbreitung der Art nach dieſelbe, dieſe Fläche alſo ſich ſelbſt ſtets ähnlich. Darf man die Größe des Raumes, worin die urſprüngliche Erſchütterung Statt findet, nicht als ſehr klein betrachten, ſo muß man jeden Punct deſſelben oder wenigſtens ſeiner Begrenzung als einen beſonderen Mittelpunct der Erſchütterung anſehen, der ſeine eigene Wellenfläche erzeugt. Der Inbegriff aller, einem gegebenen Augenblick entſprechenden Wellenfläche beſtimmt den Raum, wohin die Bewegung in dieſem Augenblicke vorgedrungen iſt.

411. Iſt ein Medium nach allen Richtungen **gleich elaſtiſch**, ſo können ſich in demſelben, falls überhaupt eine Fortpflanzung der ſchwingenden Bewegung darin möglich iſt, nach jeder gegebenen Richtung **nur** zweierlei Schwingungsarten fortpflanzen. Entweder ſchwingen die Theilchen des Mediums längs dieſer Richtung, d. h. ſie gehen in geraden Bahnen, die in dieſe Richtungen fallen, hin und her, und die Schwingung heißt **longitudinal**, oder ſie beſchreiben beliebige Bahnen, die in einer auf der Fortpflanzungsrichtung ſenkrechten Ebene liegen, und die Schwingung heißt **transverſal**. Jeder dieſer Schwingungsweiſen gehört, da ſie mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortgepflanzt werden, eine eigene kugelförmige Wellenfläche. Eine willkürliche Bewegung eines Theilchens des Mediums kann man hinſichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung in eine longitudinale und in eine transverſale zerlegen. Weil beiden Bewegungsarten verſchiedene Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten zukommen, ſo werden ſie ſich im erſten Augenblicke trennen und abgeſondert fortſchreiten. Daher bringt im Allgemeinen eine willkürliche Erſchütterung des Mediums, bei deſſen hier vorausgeſetzter Beſchaffenheit, zwei getrennte ſphäriſche Wellen hervor, in deren einer longitudinale, in der anderen transverſale Vibrationen Statt finden. Die longitudinalen Schwingungen geſchehen, den Ergebniſſen der Rechnung gemäß, mit Verdichtungen und Verdünnungen des Mediums; die transverſalen ſind mit keiner merklichen Aenderung der Dichte verbunden. Sowohl longitudinale als transverſale Wellen wirken auf einander bei der Durchkreuzung nach den Geſetzen der Zuſammenſetzung der Bewegungen. Sie verſtärken ſich, wenn die ſich begrenzenden Theilchen nach einerlei Richtung fortſchreiten und ſchwächen ſich, wenn ihre Richtungen entgegengeſetzt ſind, ja wenn ſie ſich in ganz entgegengeſetzten Phaſen befinden, heben ſie ſich vollkommen auf. Man nennt dieſes Aufeinanderwirken zweier zuſammentreffenden Wellen **Interferenz** derſelben.

412. Aus dem in 405 durchgeführten Beiſpiele iſt zu erſehen, warum ſich bei der Fortpflanzung der Wellenbewegung nur nach der Richtung des Fortſchreitens der Bewegung, nicht aber im entgegengeſetzten Sinne Wellen erzeugen. Es wirken nämlich die ſchwingenden Theile nach der Richtung der Fortpflanzung der Welle auf ruhende, und dieſe werden durch jene in Bewegung geſetzt, in der entgegengeſetzten Richtung aber auf ſchon bewegte, und dieſe werden dadurch zur Ruhe gebracht. Dieſes geht aber nur ſo lange an, als ſich die Bewegung in demſelben Mittel fortpflanzt; an der Grenze zweier heterogener Mittel können, eben wegen ihrer Ungleichartigkeit, die Theile des neuen Mittels, in welche die Bewegung vom angrenzenden Mittel übergegangen iſt, letztere nicht mehr ganz zur Ruhe bringen, und man erhält ſomit zwei Wellen, deren eine ſich im neuen Mittel fortpflanzt, während die andere im alten Mittel zurückkehrt. Letztere heißt reflectirte Welle. Es ſey A (Fig. 154) ein bewegter Punct, welcher eine ſolche Welle gegen die feſte Wand MN oder gegen die ebene Begrenzung irgend eines heterogenen Mediums ſendet; ferner ſeyen H, K zwei Puncte, in denen die Verbindungsfläche gleichzeitiger Phaſen, die wir hier kurz Welle nennen wollen, während ihres Fortſchreitens die Ebene in verſchiedenen Augenblicken trifft, welche Puncte ſich wie Mittelpuncte neuer Wellen verhalten; endlich ſeyen Ii, Ll die Lagen dieſer Wellen in einem und demſelben Augenblicke. Nimmt man den Punct A′ in der Verlängerung der auf MN ſenkrechten AD ſo, daß $DA' = DA$ wird, und zieht man von A′ durch H, K gerade Linien, bis ſelbe den genannten Wellen in I, L begegnen; ſo iſt $A'I = AL$. Denn da die ſchwingende Bewegung die Wege AHI, AKL binnen derſelben Zeit zurücklegt, ſo iſt $AH + HI = AK + KL$. Aber die congruenten Dreiecke ADH, A′DH und ADK, A′DK geben $AH = A'H$, $AK = A'K$; daher iſt auch $A'H + HI = A'K + KL$, d. h. $A'I = A'L$. Beſchreibt man daher aus A′ mit dem Halbmeſſer A′I eine Kugelfläche, ſo berührt dieſe die beiden Wellen Ii, Ll, und aus gleichem Grunde auch alle andern, in demſelben Augenblicke vorhandenen, von den verſchiedenen Puncten der Wand MN ausgeſendeten, d. i. reflectirten Wellen. Dieſe Wellen ſind hier als Elementarwellen zu betrachten, die ſich an den Stellen, wo je zwei einander nächſte derſelben zuſammenkommen, zu einer wirkſamen Welle verbinden, und letztere, welche offenbar nichts anderes ſeyn kann, als die Berührungskugel ſämmtlicher Elementarwellen, verhält ſich daher gerade ſo, als wäre ſie von A′ ausgegangen. Es erzeugt alſo eine ſphäriſche Welle durch Reflexion an einer Ebene eine zweite ſphäriſche Welle, deren Mittelpunct ſo liegt, daß die von ihm zu dem Mittelpuncte der directen Welle gehende gerade Linie auf der reflectirenden Ebene ſenkrecht ſteht und durch ſelbe halbirt wird.

413. So wie aus dem Zuſammentreffen directer Waſſerwellen mit reflectirten eine ſtehende Waſſerwelle hervorgeht, bei welcher nicht mehr ein Wellenberg auf ein Wellenthal folgt und umgekehrt, ſondern wo abwechſelnd ein Wellenberg in ein Wellenthal übergeht; eben ſo

entſtehen aus dem Zuſammentreffen der von Molekularkräften abhängigen directen und zurückgeworfenen Schwingungen in elaſtiſchen Medien ſtehende Oscillationen. Die ſo entſpringenden ſtehenden Wellen ſind longitudinale oder transverſale, je nachdem es die directen Wellen waren. Je zwei ſolche an einander grenzende Wellen ſtellen gerade entgegengeſetzte Phaſen der Bewegung vor, ſo daß, wenn in einer eine Verdichtung Statt hat, in der nächſt angrenzenden Verdünnung herrſcht. Beide ſind durch ruhende Stellen (Knoten) von einander getrennt. Bei der ſtehenden Schwingung haben die oscillirenden Theile da die kleinſte Geſchwindigkeit (= o), wo ihre Abweichung von der natürlichen Lage am größten iſt und in der natürlichen Lage die größte Geſchwindigkeit. Da ſie wegen ihrer Trägheit über dieſe hinausgehen, ſo dauert eine ſtehende Schwingung auch fort, wenn auch die erregende Urſache zu wirken aufgehört hat, wie bei den ſtehenden Wellen in tropfbaren Flüſſigkeiten. Bei der fortſchreitenden Schwingung findet gerade das Gegentheil Statt. Die ſchwingenden Theile haben bei der größten Abweichung von der natürlichen Lage die größte Geſchwindigkeit, und es iſt überhaupt die Geſchwindigkeit dieſer Abweichung proportionirt; beim Eintreten in die Lage des Gleichgewichtes iſt die Geſchwindigkeit auf Null herabgeſunken und darum kein Grund vorhanden, warum eine ſolche Schwingung die erregende Urſache überdauern ſoll.

Achtes Kapitel.

Geſetze des Schalles (Akuſtik).

A Schall überhaupt.

414. Die Bewegungen, von denen im vorhergehenden Kapitel die Rede war, laſſen ſich in der Regel nicht unmittelbar wahrnehmen und in ſofern müſſen wir darauf verzichten, die Reſultate theoretiſcher Unterſuchungen hierüber am Prüfſteine der unmittelbaren Erfahrung zu erproben. Glücklicher Weiſe gibt es aber eine eigenthümliche Einwirkung ſolcher Bewegungen auf einen unſerer Sinne, von deren Beſchaffenheit wir auf die Art der Bewegung ſelbſt zurückſchließen können, und ſomit erreichen wir den doppelten Vortheil, die Richtigkeit der vorhin gewonnenen theoretiſchen Lehren durch die Erfahrung, wenn auch nur mittelbar, prüfen und zugleich eine ſehr wichtige ſinnliche Affection erklären zu können. Es wird nämlich unſer Gehörorgan von einer hinreichend ſchnellen und ſtarken Erſchütterung des dasſelbe umgebenden Mittels auf ſolche Weiſe afficirt, daß daraus die Empfindung des Schalles hervorgeht. Wir betrachten dasjenige, was eine ſolche Erſchütterung der Luft hervorbringt, als Quelle des Schalles, und die Luft als Schallmittel Es kann alſo ein Inſect durch die mit der Flügelbewegung verbundenen raſchen Zuſammenziehungen und Erweiterungen der Bruſthöhle, welche ein ſtoßweiſes Aus- und Einathmen der Luft bewirken (Burmeiſter, in Pogg. Ann. 38. 283), ein Stab

oder eine Peitſche, die ſchnell genug durch die Luft fahren, eine Luftmaſſe, die angezündet wird und dabei ein Product von viel kleinerem Volum liefert, wie z. B. Knallgas, ein beim Erhitzen und Erkalten ſein Volum in raſch auf einander folgenden Abſätzen änderndes Metall u. dgl. einen Schall erregen. Körper, die ſich in ſtehender Wellenbewegung befinden, müſſen der Natur der Sache nach beſonders geeignet ſeyn, einen Schall zu erregen.

Um ein erhitztes Metall beim Abkühlen zum Tönen zu bringen, dient am beſten das ſogenannte Trevelyan-Inſtrument (Fig. 155). Es beſteht aus einem etwa $1\frac{1}{2}$—2 Zoll breiten, 4—5 Zoll langen Stücke Eiſen, Meſſing oder Kupfer, das in einen runden dünnen Stiel ausläuft und an einer cylindriſch geſtalteten convexen Fläche eine Längenfurche hat, damit es eine Unterlage nur an den Rändern dieſer Furche berühre. Legt man das Metallſtück im kalten Zuſtande auf die Kante eines dreiſeitigen Prisma's von Blei, ſo daß es nur mit den erwähnten Rändern aufliegt, und ſich zugleich mit dem Stiele auf den Tiſch ſtützt; ſo erfolgt, wenn man es auf einer Seite ein wenig drückt und dann losläßt, ein Hin- und Herwackeln des Metallſtückes, und man hört einige hinter einander folgende Stöße, die, weil das Metallſtück gleich wieder zur Ruhe kommt, nicht andauern. Erhitzt man aber das Metallſtück und verfährt wie vorhin, ſo folgen die Stöße viel raſcher hinter einander und verſchmelzen alsbald in einen Ton. Dieſe Stöße rühren davon her, daß das kalte Blei an den Puncten, wo es vom Metallſtücke berührt, mithin erwärmt wird, eine Erhöhung bekommt, in Folge deſſen das Metallſtück ſeitwärts fällt, worauf die Erhöhung ſich verliert, während ſie auf der andern Seite entſteht, weßwegen das Metall wieder in die frühere Lage zurückfällt u. ſ. w. Neueſtens hat man gefunden, daß eine Zinkſtange, die auf zwei Stützen ruht und mit einer Spirituslampe erwärmt wird, zum Tönen kommt. Das Tönen einer heißen Silbermaſſe auf einem eiſernen Ambos war ſchon länger bekannt. (Gilbert's Ann. 22 323; Pogg Ann. 24. 466; 82. 553; 43 205; 51 1.)

415. Als Schallmittel kann jeder Körper dienen, der eine erlittene Erſchütterung fortzupflanzen vermag. Das gewöhnliche Schallmittel iſt die atm. Luft; es ſind aber alle Körper, ſie mögen feſt oder tropfbar ſeyn, ja ſogar die Dünſte dazu geeignet, wie man aus unzähligen Erſcheinungen abnehmen kann. Hält man z. B. das Ohr an das Ende eines Stabes, der am andern Ende eine Uhr berührt, ſo hört man ihren Gang beſſer als durch die Luft; durch die Erde wird der Donner der Kanonen auf ungeheure Entfernungen fortgepflanzt; zwei Steine, die unter Waſſer zuſammengeſchlagen werden, hört man in demſelben und außerhalb deſſelben; Fiſche folgen dem Schalle einer Glocke, die ſich außer dem Waſſer befindet; hängt man ein Glöckchen in einer gläſernen, mit Dampf gefüllten Kugel mittelſt eines feinen Fadens auf, ſo hört man ſeinen Klang recht vernehmlich durch die Dünſte. Die Nothwendigkeit des Schallmittels, um die Schwingungen eines ſchallenden Körpers vernehmen zu können, ſetzt ein Verſuch mit der Luftpumpe, unter deren Recipienten man das Schlagwerk einer Uhr gebracht hat, außer Zweifel. Je mehr man die Luft unter dem Recipienten verdünnt, deſto ſchwächer wird der Schall,

und iſt, wenn man Sorge getragen hat, das Schlagwerk auf einen weichen Polſter zu ſetzen, damit nicht der Teller und das Geſtelle der Luftpumpe zur Schallleitung diene, zuletzt nicht mehr vernehmlich. Läßt man Luft zu, während das Schlagwerk im Gange iſt, ſo hört man den Schall wieder.

416. Jeder Schall hat einen eigenthümlichen Charakter, der durch ſein Quantitatives und durch ſein Qualitatives beſtimmt wird. Seine Qualität läßt ſich nicht beſchreiben, ſie iſt das, wodurch ſich z. B. eine Menſchenſtimme von dem muſikaliſchen Schalle eines Inſtrumentes, ja ſelbſt der Schall eines Inſtrumentes von dem eines andern unterſcheidet. Man kann es mit Chladni den Laut oder vielleicht noch paſſender den Klang des Schalles nennen. Das Quantitative bezieht ſich auf die Stärke, Höhe und Tiefe des Schalles. Ein Schall, der uns als etwas in ſeinen Theilen Geregeltes erſcheint, heißt Klang; ein in Bezug auf Höhe und Tiefe betrachteter Klang, ein Ton. Man ſagt: eine Saite klingt und gibt einen hohen oder tiefen Ton; ein Waſſerfall macht ein Geräuſch. Zwei zu gleicher Zeit erzeugte Töne klingen entweder angenehm oder unangenehm zuſammen; im erſten Falle bilden ſie eine Conſonanz, im zweiten eine Diſſonanz. Drei oder mehrere conſonirende Töne geben einen Accord. Eine geregelte Folge einzelner Töne heißt Melodie; eine geregelte Folge von Accorden Harmonie. Ein Klang wird nur durch geregelte Schwingungen des ſchallenden Körpers erzeugt, und darum werden ſchnell und hinreichend ſtark ſchwingende Körper auch vorzugsweiſe als klingende Körper angeſehen.

Das Weſen der quantitativen Eigenſchaft des Schalles, welche die Höhe und Tiefe des Tones beſtimmt, läßt ſich nicht bloß im Allgemeinen angeben, ſondern auch meſſen; ein Gleiches gilt gewiſſermaßen auch von der Stärke, wie im Folgenden gezeigt werden ſoll. Ueber die Qualität vermag jedoch die Phyſik bis jetzt nur wenig Auskunft zu ertheilen, und dieß nur in ſofern, als ſelbe ſich auf eine Beziehung zwiſchen Quantitäten zurückführen läßt. Es iſt nämlich ſehr wahrſcheinlich, daß die Qualität eines Tones von dem Geſetze abhängt, an welches die Bewegungsphaſen des ſchwingenden Körpers gebunden ſind; denkt man ſich dieſe Phaſen durch die Ordinate einer krummen Linie ausgedrückt, die dazu gehörige Zeit aber als deren Abſciſſe, ſo kann die Form dieſer Curve als ein Bild des Charakters des Tones betrachtet werden. Wahrſcheinlich liegt es in der Einfachheit oder Complication dieſer krummen Linie, ob ein Schall ein bloßes Geräuſch oder ein Klang iſt; die verſchiedenen Charaktere des Schalles, welche man mit den Worten: Brauſen, ſauſen, knarren, ziſchen, klatſchen, poltern, raſſeln, rauſchen, rollen ꝛc. bezeichnet, deuten wohl nur auf eine durch das Zuſammentreffen mehrerer ungleichartigen Schalle entſtandene Complication des Eindruckes auf unſer Gehörorgan hin.

B. Fortpflanzung des Schalles.

417. Der innere Verlauf bei der Fortpflanzung des Schalles in der Luft beruht auf der Fortpflanzung longitudinaler Impulſe in einem elaſtiſchen Medium, wie ſie in 405 näher betrachtet worden iſt; die Welle, welche ſich dieſer Fortpflanzung zu Folge bildet, heißt nun

Schallwelle. Um die Geſchwindigkeit zu finden, mit welcher ſich eine ſolche Welle fortpflanzt, hat man ſich des Abfeuerns von Kanonen zur Nachtzeit bedient, wo man den dadurch entſtandenen Schall hören und zugleich das Feuer des entzündeten Pulvers ſehen konnte. Die Zeit, welche verſtrich von dem Augenblicke an, wo man das Feuer ſah, bis zu jenem, wo man den Donner des Geſchützes vernahm, konnte als diejenige betrachtet werden, welche der Schall braucht, um von der Kanone bis zum Ohre des Beobachters zu gelangen. Man hat dabei auf die Stärke und Richtung des Windes, wie auch auf Wärme und Feuchtigkeit der Luft die genaueſte Rückſicht zu nehmen, weil dieſe einen Einfluß auf die Geſchwindigkeit der Schallfortpflanzung ausüben. Hat man dieſe Geſchwindigkeit bei einer gegebenen Temperatur und einem beſtimmten Feuchtigkeitsgrade in ruhiger Luft durch Beobachtung gefunden; ſo hält es nicht ſchwer, daraus jene für trockene Luft und die Temperatur = 0 abzuleiten. Man findet ſie gleich 1050 W. F. in der Secunde.

Solche Verſuche hat man ſchon in der zweiten Hälfte des ſiebzehnten Jahrhunderts unternommen, und ſie von dieſer Zeit bis auf unſere Tage öfters wiederholt. Allein es blieb noch immer Manches zu wünſchen übrig, beſonders weil man nie im Stande war, Reſultate zu erhalten, die vom Einfluſſe des Windes ganz frei waren. Die in dieſer Hinſicht genügendſten Verſuche ſind jene, welche im Jahre 1823 von Moll (Zeitſch 1. 213) und Anderen angeſtellt wurden wo man an jedem Endpuncte einer genau gemeſſenen Linie in demſelben Augenblicke eine Kanone abfeuerte, die Zeit vom Augenblicke der Lichterſcheinung bis zum Vernehmen des Schalles an beiden Stationen beobachtete, und ſo auf einmal zwei Reſultate erhielt, deren eines durch den Einfluß des Windes vergrößert, das andere eben dadurch verkleinert war, deren Mittelwerth aber als von dieſem Einfluſſe nahe frei angeſehen werden konnte (Pogg. Ann. 5. 351, 469; 19. 115) Die oben angegebene Geſchwindigkeit kommt dem Schalle in der Luft unter den gegebenen Umſtänden zu, man mag ſeine Ausbreitung nach oben oder in horizontaler Richtung betrachten; denn bei den von Stampfer und Myrbach (Jahrb. des polyt. Inſt. Bd. 7) angeſtellten Verſuchen hatten die beiden Standpuncte der Beobachter einen Höhenunterſchied von 4198 P. F., und doch fand man ein dem vorigen ſehr nahes Reſultat. (333.2 Meter.) Der Wind beſchleunigt den Schall nach deſſelben Verſuchen um ſeine eigene Geſchwindigkeit, wenn er mit ihm geht, und verzögert ihn um eben ſo viel, wenn er ihm entgegen kommt. In feuchter Luft bewegt ſich der Schall ſchneller als in trockener, wie Goldingham in Madras ganz außer Zweifel geſetzt hat. Den größten Einfluß auf die Geſchwindigkeit des Schalles hat die Wärme, indem ſie das Verhältniß der Expanſivkraft zur Dichte der Luft, von dem allein die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit abhängt, modificirt. Alle anderen Umſtände haben auf die Geſchwindigkeit des Schalles keinen wahrnehmbaren Einfluß.

418. In feſten und tropfbaren elaſtiſchen Medien geht die Fortpflanzung des Schalles auf dieſelbe Weiſe vor ſich wie in der Luft, nur der nummeriſche Werth der Geſchwindigkeit iſt in jedem dieſer Körper ein anderer. Man hat ſelten Gelegenheit, Meſſungen dieſer Geſchwindigkeit direct zu machen, weil dazu, wenn die Reſultate nur

einigermaßen genau ſeyn ſollen, Medien von großer Länge nothwendig ſind; indeß hat doch Biot Mittel gefunden, an einer eiſernen Waſſerleitung die Geſchwindigkeit des Schalles im Eiſen, Colladon und Sturm am Genferſee die Geſchwindigkeit im Waſſer zu beſtimmen, woraus ſich erſtere $10^1/_2$mal, letztere viermal größer zeigte als in der Luft. Es gibt aber noch andere Mittel zur Beſtimmung des Schalles in verſchiedenen Mitteln, die ſich ſelbſt bei ſehr beſchränkter Ausdehnung der Körper anwenden laſſen; von dieſen kann aber erſt in der Folge die Rede ſeyn. Dadurch hat Chladni die Geſchwindigkeit des Schalles gefunden, wie folgt: im Zinn = $7^1/_2$mal, im Silber 9mal, im Kupfer nahe 12mal, im Glas 17mal, im gebrannten Thon 10—12mal, in verſchiedenen Hölzern 11—17mal größer als in der Luft.

Im Eiſe und im Waſſer von 0° C. fand man die Schallgeſchwindigkeit gleich groß. Man hat auch die Geſchwindigkeit des Schalles in verſchiedenen Gaſen unterſucht und das Geſetz beſtätiget gefunden, daß ſie ſich nach dem Verhältniſſe der Expanſivkraft zur Dichte, alſo bei gleichen Temperaturen nach der ſpecifiſchen Expanſivkraſt derſelben richte. Dulong fand, daß der Schall bei 0° C. in einer Secunde im Sauerſtoffgas 317,17 Meter, im Waſſerſtoffgas 1269,5 M., im Kohlenſäuregas 261,6 M., im Kohlenoxydgas 387,4 M., im Stickſtoffoxydgas 261,9 M., im Oehlgas 314 M. zurücklege. (Zeitſchr. 6. 502.)

419. Wenn man mit den Ergebniſſen der directen Meſſungen der Schallgeſchwindigkeit in der Luft die Reſultate der theoretiſchen Berechnung vergleicht, ſo findet man das Rechnungsreſultat um $^1/_6$ kleiner als das der Erfahrung. Die Urſache dieſes Unterſchiedes liegt, wie Laplace zuerſt bemerkt hat, darin, daß man bei der theoretiſchen Deduction nicht darauf Rückſicht genommen hat, daß ſich die Luft bei der Verdichtung erwärme, alſo eine größere Expanſivkraft bekomme und ſich beim Verdünnen erkälte, mithin eine geringere Expanſivkraft erlange. Da nun die beſchleunigende Kraft, wodurch die Fortpflanzung erzeugt wird, in dem Unterſchiede der Expanſivkraft der verdichteten oder verdünnten Luft gegen die Expanſivkraft der in ihrer natürlichen Dichte befindlichen liegt und dieſer Unterſchied bei der verdichteten Luft durch Erwärmung, bei der verdünnten durch Erkältung erhöht wird; ſo muß dadurch die Geſchwindigkeit des Schalles vergrößert werden. Es laſſen ſich Mittel ausfindig machen, die Vergrößerung der Spannkraft zu beſtimmen, ohne die durch die Erfahrung gegebene Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft dabei zu benützen. Die darnach geführte Rechnung ſtimmt mit der Erfahrung hinreichend überein, um die Richtigkeit der Laplace'ſchen Behauptung außer Zweifel zu ſetzen; davon wird ſpäter die Rede ſeyn.

420. In einem nach allen Seiten gleich elaſtiſchen Mittel pflanzt ſich die Bewegung, welche in demſelben einmal angeregt worden iſt, in gerader Linie fort. Man nennt eine ſolche Linie einen Schallſtrahl; er bringt in unſerem Gehörorgane dieſelbe Wirkung hervor, als wäre ein bewegter Körper von der urſprünglichen Quelle des Schalles ausgegangen und bis zum Ohre gelangt. Kommt eine Schall=

welle an eine Stelle, wo das Medium, in dem ſie bisher fortging, aufhört und ein anderes beginnt, ſo ſpaltet ſie ſich nach 412 gleichſam in zwei Theile; der eine dringt in das neue Mittel ein, der andere aber kehrt in das vorige zurück, d. h. er wird reflectirt. Man muß aber die regelmäßige Reflexion des Schalles von der Zerſtreuung deſſelben wohl unterſcheiden. Bei erſterer bilden die einzelnen Elementarwellen, die ſich zu einer wirkſamen Schallwelle zuſammengeſetzt haben, ſelbſt noch nach der Zurückwerfung eine wirkſame Welle, bei letzterer wird eine wirkſame Welle durch Reflexion in ihre Elementarwellen zerlegt und hört dadurch auf, eine deutliche Schallempfindung hervorzubringen; bei erſterer macht der reflectirte Schallſtrahl mit der Trennungsfläche beider Mittel einen Winkel, welcher jenem gleich iſt, den der auffallende Strahl mit derſelben einſchließt; bei letzterer wird der einfallende Strahl durch Reflexion in eine Menge nach verſchiedenen Richtungen ausfahrender einzelner Strahlen gleichſam zerſplittert; erſtere tritt ein, wenn die Grenze der Schallmittel, wo die Zurückwerfung Statt hat, eine Ebene oder eine ziemlich regelmäßig gekrümmte Fläche iſt, letztere, wenn dieſe Grenze unregelmäßige Erhöhungen und Vertiefungen hat. Das Verhältniß der Intenſität des regelmäßig reflectirten und durchgelaſſenen Strahles richtet ſich nach dem Verhältniſſe der Schallgeſchwindigkeit in beiden an einander grenzenden Mitteln. Die regelmäßige Reflexion tritt nach den angeführten Geſetzen am deutlichſten an nach einer Kugelkrümmung ausgehöhlten Flächen (Niſchen in Gebäuden) hervor. Stellt man zwei ſolche hohle Flächen (Hohlſpiegel) einander gegenüber, und es ſpricht Einer mit dem Geſichte gegen eine Fläche gekehrt in der Entfernung des halben Radius derſelben, ſo hört ihn ein Zweiter, der ſein Ohr in der entſprechenden Entfernung von der zweiten Fläche hat, deutlich, während Andere in der Nähe befindliche nichts hören. Es werden alſo die Schallſtrahlen, welche auf die erſte Fläche auffallen, parallel mit einander reflectirt, fallen ſo auf die zweite, und erleiden daſelbſt wieder eine Reflexion, wodurch ſie aber vereiniget werden. Von der Art war das ſogenannte Ohr des Dionyſius in den Steinbrüchen bei Syrakus. Nach Gregory's Verſuchen wird durch Reflexion die Geſchwindigkeit des Schalles nicht geändert.

Aus dem Geſagten iſt begreiflich, daß nicht bloß feſte, ſondern auch tropfbare und ausdehnſame Körper, wie z. B Wolken, warme Luft u. ſ. w. den Schall reflectiren können, und daß überhaupt bei jedem Uebergange des Schalles von einem Mittel in ein anderes eine Reflexion eintritt. Bei den Schallverſuchen in Frankreich bemerkte man, daß der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel ganz einfach gehört wurde, während er bei einer nur mäßigen Bewölkung an demſelben Orte wie das Rollen des Donners erſchien, zum Beweiſe, daß ſelbſt Wolken den Schall reflectiren. Da unſer Urtheil über die Lage des ſchallenden Körpers von der Fortpflanzungsrichtung der zu unſerem Ohre gelangenden Schallwelle abhängt, ſo muß dieſes, wenn nicht andere Puncte darauf Einfluß nehmen, ſtets unrichtig ausfallen, ſo oft ein Schallſtrahl auf ſeinem Wege von der geraden Richtung abgelenkt wird;

daher es ſchwer iſt, in einem Walde die Quelle eines beſtimmten Schalles zu finden, und hierüber ſo leicht Irrungen Statt finden können.

421. Wenn man einer reflectirenden Fläche gegenüber eine in einen Rahmen geſpannte kleine Membrane aufſtellt, welche von kleinen, zarten Pendelchen berührt wird, ſo kann man aus der Bewegung dieſer Pendel ſelbſt da das Daſeyn reflectirter Wellen erkennen, wo das Ohr dieſelben nicht wahrzunehmen vermag oder der Kopf des Beobachters genaue Meſſungen hindert. Man kann damit zugleich den Beweis führen, daß unter den gewöhnlichen Umſtänden eine Schallwelle durch Reflexion das Zeichen ändert, d. h. daß der verdünnte Theil in einen verdichteten übergeht und umgekehrt (A. Seebek in Pogg. Ann. 59. 177). Die Theorie lehrt, daß dieſe Umkehrung jedesmal eintreten muß, wenn das reflectirende Mittel dem Andrange der directen Wellen leichter ausweicht, als dasjenige, vor welchem die Wellen einfallen.

422. Iſt die Entfernung des reflectirenden Körpers von der Quelle des Schalles nicht groß, ſo fällt der reflectirte Schall mit dem urſprünglichen zuſammen und bewirkt eine Verſtärkung deſſelben; beträgt die Entfernung mehr, ſo kann durch die Reflexion der urſprüngliche Schall nicht bloß verſtärkt, ſondern auch verlängert werden, jedoch ohne daß eine Unterbrechung wahrzunehmen iſt. Dieſes nennt man einen Nachhall. Iſt endlich die Entfernung ſo groß, daß der reflectirte Schall erſt dann zurückkommt, wenn ſich das Ohr vom erſten Schalle ſo erholt hat, daß es für einen zweiten vollkommen empfänglich iſt; ſo vernimmt man den Schall doppelt, und dieſe Erſcheinung heißt Wiederhall oder Echo. Da der Erfahrung gemäß das menſchliche Gehör in einer Secunde 9 Laute völlig deutlich vernehmen und von einander unterſcheiden kann; ſo muß ein Gegenſtand, der den letzten Laut eines zuſammenhängenden Schalles als Echo zurückſenden ſoll, $1050 : 18 = 58{,}3$ Fuß entfernt ſeyn. Beträgt dieſe Entfernung $58{,}3 \times 2 = 116{,}6$ Fuß, ſo werden die zwei letzten Laute im Echo vernehmbar, oder es iſt zweiſilbig, bei der Entfernung von $58{,}3 \times 3 = 174{,}9$ Fuß dreiſylbig ꝛc. Gibt es mehrere reflectirende Gegenſtände, wovon einer ein einſylbiges, der andere ein zweiſylbiges, der dritte ein dreiſylbiges Echo hervorbringt; ſo entſteht ein zweifaches oder dreifaches Echo. Daß zur Entſtehung eines Echo's nicht bloß die gehörige Entfernung des reflectirenden Körpers vom Hörenden, ſondern auch eine der regelmäßigen Reflexion (nicht Zerſtreuung) des Schalles günſtige Beſchaffenheit deſſelben gehöre, iſt aus dem Vorhergehenden klar.

Ein Echo mag wohl im Freien ſehr ergötzen, in Hörſälen, Theatern ꝛc. iſt es aber höchſt nachtheilig. Um es da zu verhüten oder zu mindern, iſt das Durchbrechen der Decke, das Unebenmachen derſelben mit Zierathen, das Behängen mit Teppichen, oder wenn die Wände hohl ſind, das Ausfüllen der Höhlungen mit Sägeſpänen, ein wirkſames Mittel. Es gibt viele ſchon vom Alterthume her berühmte Echo. Ein ſolches am Grabmale der Metella, Gemahlin des Craſſus, ſoll den erſten Vers der Aeneide achtmal wiederholt haben; ein Echo zwiſchen

Coblenz und Bingen ſoll ein Wort ſiebzehnmal wiederholen, ein anderes bei dem Schloſſe Simonetta, unweit Mailand, gibt gar eine vierzigmalige Wiederholung desſelben Lautes. Bei Verdun iſt ein zwölf- bis dreizehnfaches Echo vernehmbar. In großen, durch Kuppelgewölbe geſchloſſenen Räumen ſind mehrfache Echo keine Seltenheit.

C. Intenſität des Schalles.

423. Die Intenſität des Schalles hängt, abgeſehen von der Empfindlichkeit des Gehörorganes, von der Stärke des Stoßes ab, der auf dieſes Organ ausgeübt wird, und von dem Zeitintervalle, das einen Stoß vom andern trennt. Daraus ergibt ſich, daß die Stärke des Schalles durch die Beſchaffenheit und Bewegung des ſchallenden Körpers, durch die Natur des fortpflanzenden Mittels und endlich auch noch durch die Lage des Hörenden gegen den ſchallenden Körper beſtimmt wird.

424. Je mehr Theile des ſchallenden Körpers zugleich ſchwingen, je ſchneller ſie dieſes thun und je größere Excurſionen ſie machen, ferner, je weniger die Wirkungen der verſchiedenen oſcillirenden Theile des ſchallenden Körpers auf das Schallmittel einander entgegengeſetzt ſind, deſto größer wird der Unterſchied zwiſchen der Dichte des verdichteten und verdünnten Theiles einer Schallwelle, mithin deſto intenſiver ihre Wirkung auf das Gehörorgan. Je vollkommener die Trennung der einzelnen Stöße des ſchallenden Körpers auf das Schallmittel iſt, deſto mehr Intenſität erhält der Schall.

Deßhalb iſt der Ton einer Metall- oder Glasplatte ſo ſtark, daß man ihn ohne Hülfsmittel weit hört (Glockengeläute), während der Ton einer Saite und einer Stimmgabel ſchon in kleiner Entfernung nicht mehr hörbar iſt; darum verurſachen lange Peitſchen einen ſtärkeren Knall als kurze, deßhalb iſt der Donner einer Kanone heftiger als der Knall einer Finte; aus dieſem Grunde ſind hohe Töne und ſolche, die dicken Saiten entlockt werden, ſo ausgiebig; darum verſtärkt bei Streichinſtrumenten das Aufdrücken mit dem Bogen und das Rauhmachen desſelben mit Kolophonium den Ton ſo ſehr. Die Zinken einer auf gewöhnliche Weiſe zum Tönen gebrachten Stimmgabel haben gleichzeitig faſt einander entgegengeſetzte Bewegungen, die ſich auch der Luft mittheilen und darum nur einen ſehr ſchwachen Ton erzeugen. Bringt man an einer Zinke ein Papierſcheibchen an, das beim Schwingen mit ſeiner Fläche gegen die Luft ſchlägt, und macht die Maſſe der zweiten Zinke durch Wachs der erſten gleich, ſo wirkt eine Zinke viel ſtärker auf die Luft als die andere, und der Ton wird in der That viel ſtärker und heller. Dreht man ein mit vielen Speichen verſehenes Rädchen um ſeine Axe und läßt es dabei mit den Speichen an einen leichten Körper anſtoßen, ſo wird der dadurch erregte Schall deſto ſtärker, je weiter der ſtoßende Körper vom Mittelpuncte des Randes abſteht, mithin je ſtärker die einzelnen Stöße und je ſchärfer ſie von einander getrennt ſind.

425. Je dichter das den Schall fortpflanzende Mittel iſt und je weniger es den Stößen des ſchallenden Körpers ausweicht (je geringer ſeine Expanſivkraft im Vergleiche mit der Dichte iſt), deſto größer wird die Dichte des verdichteten, und deſto kleiner die des verdünn-

ten Wellentheiles, mithin deſto intenſiver wird der Schall. Je weniger das Mittel vermöge ſeiner Geſtalt den Wellen erlaubt, ſich zu erweitern und eine größere Maſſe in Bewegung zu ſetzen, deſto leichter erhält es den Schall bei ſeiner urſprünglichen Stärke. Je ſeltener eine Schallwelle gezwungen wird, von einem Mittel in ein anderes überzugehen, deſto mehr wird die bei jedem Wechſel des Mittels (420) Statt findende Theilung der Welle verhüthet, und für die Erhaltung ihrer urſprünglichen Intenſität geſorgt. Der Wind muß offenbar den Schall verſtärken oder ſchwächen, je nachdem er mit oder gegen denſelben geht.

Hieraus erklären ſich: Die beſondere Schwäche des Schalles im Waſſerſtoffgas, wie Leslie zeigte, und in verdünnter Luft, z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe oder auf hohen Bergen; warum eine angeſchlagene Stimmgabel nicht lautet, wenn ſie in eine Drehbank eingeſpannt und ſchnell umgedreht wird; warum man an kalten Tagen einen Schall weiter hört, als an warmen; warum man eine Uhr durch die Luft in mäßiger Entfernung nicht mehr, mittelſt eines daran gehaltenen Stabes aber (wo die Schallwellen wie in einer cylindriſchen Röhre ſich fortpflanzen müſſen und ſich nicht erweitern können) noch recht gut hört; warum dieſes ein Stab beſſer thut, als ein unförmlicher Klotz; warum man ſich auf die Erde legen muß, um weit entferntes Geräuſch zu hören; warum der Schall durch zwei Breter, die eine Luftſchichte zwiſchen ſich enthalten, mehr geſchwächt wird, als durch ein einziges doppelt ſo dickes Bret; warum Wolle, Sägeſpäne und alle Körper, die viele mit Luft gefüllte Zwiſchenräume haben, den Schall ſo ſehr ſchwächen; warum ein Laut bei Nacht, wo die Luft gleichförmiger erwärmt iſt, als bei Tage, auch beſſer gehört wird ꝛc.

426. Weil die Schallwellen in freier Luft immer größer werden, je weiter ſie ſich vom ſchallenden Körper entfernen; ſo muß die Bewegung der Theile, welche das Ohr treffen, in demſelben Verhältniſſe abnehmen, und es müſſen auch dieſer Theile wenigere ſeyn. Darum nimmt der Schall in der Luft in dem Maße ab, in welchem das Quadrat der Entfernung des Hörenden vom ſchallenden Körper zunimmt. Wenn das Schallmittel vom ſchallenden Körper ringsum, gleichzeitig und auf dieſelbe Weiſe afficirt wird, wie dieſes z. B. bei einer explodirenden Knallgasblaſe der Fall iſt, ſo wird der Schall in gleichen Entfernungen von dieſem Körper ringsum gleich ſtark wahrgenommen; wird aber dieſes Mittel an einigen Stellen ſtärker als an andern afficirt, ſo muß es rings um den ſchallenden Körper ſelbſt bei gleicher Entfernung von ihm Stellen geben, wo der Schall ſtärker erſcheint als an anderen, ja an einigen Stellen kann derſelbe ganz verſchwinden.

Eine ſchwingende Saite erregt nach der Richtung ihrer Ausbeugung eine verdichtete, nach der entgegengeſetzten gleichzeitig eine verdünnte Luftwelle, und geht man rings um die Saite herum, ſo kommt man von der Gegend, wo die verdichtete Welle gleichſam vorausgeht, in jene, wo dieſes mit der verdünnten der Fall iſt; an der Grenze beider kann demnach weder Verdünnung noch Verdichtung Statt finden, und daher wird dort das Ohr gar nicht afficirt werden. Bei Saiten ſind

dieſe Grenzſtellen ſchwer zu finden (wiewohl an ihrer Exiſtenz nicht gezweifelt werden kann), weil man Saiten überhaupt ohne Reſonanzboden nicht weit genug hört und das Mittönen eines Reſonanzbodens eine Störung hervorbringt; bei einem Stabe, den man durch einen Schlag nach der Quere zum Tönen bringt, trifft man dieſe indifferenten Stellen leicht, wenn man um ihn herumgeht, oder noch beſſer, wenn man ihn vor dem Ohre um ſeine Axe dreht. Am beſten gelingt dieſer Verſuch mit einer Stimmgabel, wo beide Zinken zur Erzeugung dieſes Phänomens zuſammenhelfen. Da tritt es auch ſo deutlich hervor, daß W. Weber ſogar die vier Flächen rings um die Gabel, wo kein Tönen vernommen wird, näher beſtimmen und ihre hyperboliſche Krümmung nachweiſen konnte (Schweigg. J 48. 385). Dreht man eine ſchwingende Stimmgabel vor der Mündung eines Cylinderglaſes von ſchicklicher Länge, damit die in demſelben befindliche Luftſäule mitklinge und dadurch das Tönen der Gabel verſtärkt werde; ſo läßt ſich die Abhängigkeit der Stärke des gegen dieſe Luftſäule hin fortgepflanzten Klanges von der Stellung der Flächen der Zinken gegen die Mündung des Glaſes leicht mehreren zugleich hörbar machen. Stellt man das Ende eines tönenden Stabes oder die Zinken einer Stimmgabel in Waſſer, ſo werden die Bewegungen des Schallmittels gleichſam ſichtbar. (Chladni in Kaſtn. Archiv. 7. 62.)

427. Man kann durch Kunſt einen Schall ſo modificiren, daß er ſich ohne merkliche Abnahme ſehr weit fortpflanzen läßt. Im Allgemeinen geſchieht dieſes dadurch, daß man die Schallwellen mittelſt Röhren, die glatt genug ſind, um nicht ſelbſt in Schwingungen verſetzt zu werden oder durch Reibung einen Theil der bewegenden Kraft zu vernichten, abhält, ſich zu erweitern und eine größere Maſſe in Bewegung zu ſetzen. Dieſes bewirken: Das Communicationsrohr, das Sprachrohr und das Hörrohr. Das Communicationsrohr iſt eine beliebig lange, cylindriſche Röhre, in welcher die an einem Ende erregten Schallwellen ſo fortgehen, wie 405 gezeigt wurde, ohne ſich zu erweitern und an Intenſität zu verlieren. Deßhalb hört man am anderen Ende den Schall ſo gut, als wäre er zunächſt am Ohre erregt worden. Das Sprachrohr (Fig. 156) iſt eine coniſche Röhre, in welcher die Schallwellen, die man an der engeren Oeffnung erregt, ſo modificirt werden, daß ſie ſelbſt nach ihrem Austritte in großer Entfernung vom Rohre eine ſtarke Intenſität behalten. Nach Lambert thut eine Röhre, welche einen gemeinen, abgeſtumpften Kegel vorſtellt, dieſe Dienſte, wenn nur zwiſchen beiden Oeffnungen und der Länge ein rechtes Verhältniß herrſcht; nach Anderen verdient ein Kegel, deſſen Wände eine logiſtiſche oder hyperboliſche Krümmung haben, den Vorzug. Das Hörrohr (Fig. 157) iſt eine trichterförmige, kurze, meiſtens gebogene Röhre, wodurch die in die weitere Oeffnung eindringende Schallwelle gleichſam verdichtet wird, ſo daß Einer, der dieſes Inſtrument vor das Ohr hält, den in einiger Entfernung erregten Schall ſo gut hört, als wäre er zunächſt am Ohre hervorgebracht. (Siehe Lambert über einige akuſtiſche Inſtrumente. Berlin 1796.)

D. Höhe und Tiefe des Schalles.

428. Außer der Stärke des Schalles iſt noch ſeine Höhe und Tiefe einer genauen quantitativen Beſtimmung fähig und muß darum hier Platz finden. Wir empfinden eine Reihe periodiſch nach einem beſtimmten Geſetze wiederkehrender Stöße auf unſer Ohr als Ton, und die Höhe deſſelben hängt von der Dauer jener Periode oder was dasſelbe iſt, von der in einer gewiſſen Zeit vollbrachten Anzahl der Schwingungen des das Schallmittel erſchütternden Körpers, mithin von der Anzahl der Stöße dieſes Körpers auf das Schallmittel ab. Von der Richtigkeit dieſer Thatſache überzeugt man ſich leicht, wenn man ein dünnes Blättchen dem Rande eines ſich drehenden gezähnten Rades nähert, oder wenn man einen durch eine Röhre getriebenen Luftſtrom raſch hinter einander in gleichen Abſätzen unterbricht und wieder frei läßt (Syrene), und auch auf viele andere Arten durch Verſuche mit Saiten (Monochord), Stäben u. dgl. Durch die ſo eben genannten Hülfsmittel wird man ſogar in den Stand geſetzt, die Anzahl der gemachten Stöße genau anzugeben. Zur Wahrnehmung eines Tones gehören wenigſtens 16 Stöße oder Schwingungen in einer Secunde, einen Hin- und Hergang des ſchwingenden Körpers zuſammen für Eine Schwingung gerechnet. Folgen die Stöße zu ſchnell auf einander, wie dieſes bei 16000 und mehr Schwingungen in einer Secunde der Fall iſt, ſo vernimmt das Gehör keinen Ton, ſondern nur eine Art Ziſchen; ſelbſt die Ergebniſſe einer weit geringeren Anzahl Schwingungen können nicht mehr mit Sicherheit im Gedächtniſſe feſtgehalten und mit ähnlichen Empfindungen in Abſicht auf Höhe und Tiefe verglichen werden. Es ſcheint zur Wahrnehmung eines Schalles in Bezug auf Höhe und Tiefe nöthig zu ſeyn, daß die Wiederkehr der einzelnen Perioden, nach welchen ſich dieſelben Stöße auf das Gehörorgan wiederholen, beſonders bemerkt werden können.

Die Syrene iſt in Fig. 158 abgebildet. Sie beſteht aus einer Röhre, die zu einem cylindriſchen Behälter führt, der mit einer kreisförmigen Platte geſchloſſen iſt, in welcher in einem Kreiſe herum mehrere Löcher angebracht ſind, ſo daß die Luft, die man in die Röhre bläſt, durch dieſelben entweichen kann. Ueber dieſer Platte findet ſich in geringem Abſtande eine andere parallele, um eine auf den Ebenen beider ſenkrechte Axe äußerſt leicht drehbare, ebenfalls mit mehreren, gleichweit von einander abſtehenden, gegen die Halbmeſſer der Platte ſenkrecht, gegen ihre Ebene aber unter dem Winkel von 45° gebohrten Löchern, welche auf die der erſteren Platte paſſen. Dieſe Platte wird durch den aus den Oeffnungen der unteren Platte hervortretenden Luftſtrom, der ſchiefen Stellung ihrer Löcher wegen, in Bewegung geſetzt, und läßt ſich durch Regulirung des Luftſtromes in beliebiger conſtanter Geſchwindigkeit der Drehung erhalten. Während einer Umdrehung fällt jede ihrer Oeffnungen einmal auf jede Oeffnung der Spalte der Bodenplatte ſo, daß die Luft während einer ſolchen Umdrehung ſo oft aus der Röhre entweichen kann und wieder zurückgehalten wird, als die Löcher beider Platten zuſammenfallen, mithin eben ſo viele Stöße entſtehen. Um die Anzahl der Umläufe der Platte und, durch Multiplication derſelben mit der Anzahl der Löcher, auch die Anzahl der Stöße zu beſtimmen, kann an die Axe der beweglichen Scheibe ein mit Zifferblättern und

Zeigern verſehenes Räderwerk angeſchoben werden, in welches dieſe Axe eingreift. (Ohm in Pogg. Ann 59. 513. Seebek ebend. 60. 449.)

Ein Monochord iſt ein einſaitiges Inſtrument, mit einer Vorrichtung, welche erlaubt, die Saite beliebig zu verkürzen und deren jedesmalige Länge ſcharf zu meſſen. Verkürzt man eine ſolche Saite von bedeutender Länge allmählig, ſo bemerkt man deutlich, daß anfänglich, wo man die Schwingungen einzeln bequem ſehen und zählen kann, noch kein Ton gehört wird, ſpäter aber, bei raſcheren Schwingungen ein tiefer Ton ſich einſtellt, deſſen Höhe mit der durch fortgeſetzte Verkürzung geſteigerten Schnelligkeit der Schwingungen zunimmt. Eben dahin gelangt man mit einem langen elaſtiſchen Stabe, den man durch Einzwängen beliebig verkürzen kann.

Das Monochord iſt beſonders bequem, wenn es ſich darum handelt, die Anzahl der Schwingungen bei zwei Tönen mit einander zu vergleichen. Bei ungeänderter Spannung der Saite iſt die Anzahl der Schwingungen binnen einer feſtgeſetzten Zeit der Länge des ſchwingenden Stückes verkehrt proportionirt.

429. Das natürliche Maß der Höhe eines Tones iſt die demſelben entſprechende Anzahl der Schwingungen, welche während einer feſtgeſetzten Zeit, wozu wir die Secunde wählen, vor ſich gehen. Wird alſo ein Ton durch n Schwingungen in einer Secunde gebildet, ſo iſt die Tonhöhe = n, und zwar iſt dieß die abſolute Tonhöhe. Vergleicht man aber die Höhen zweier Töne mit einander, indem man das Verhältniß ihrer abſoluten Werthe angibt, ſo hat man es mit der relativen Höhe des einen in Bezug auf den andern zu thun. Der Ton, auf den man einen andern bezieht, heißt der Grundton. Wir werden hier ſtets vorausſetzen, daß er der tiefere der in Vergleichung gebrachten Töne ſey. Iſt N die abſolute Höhe des Grundtones, n jene des mit ihm verglichenen, ſo wird der Quotient $\frac{n}{N}$ als Ausdruck der relativen Höhe des letztern angeſehen, ſo daß dem Grundtone der Ausdruck $\frac{N}{N} = 1$ entſpricht.

430. Das menſchliche Gehör kann zwar ſehr kleine Unterſchiede in den Tonhöhen wahrnehmen, aber eine gewiſſe Folge von Tönen gewährt ihm eine beſondere Befriedigung. In einer ſolchen Folge, Scale oder Tonleiter genannt, kommt man, von dem Grundtone aufſteigend, nach ſechs Zwiſchentönen auf einen Ton, der mit dem Grundtone ſo genau zuſammenſtimmt, daß man, wenn beide zuſammen erklingen, nur einen Ton zu hören glaubt. Darum nimmt man bei dem Fortſchreiten zu noch höheren Tönen an, die Tonreihe beginne mit dieſem Tone wieder von neuem. Es gibt aber für jeden Grundton zwei Scalen, deren eine die harte, die andere aber die weiche genannt wird. Die Töne jeder heißen nach der Ordnung: Grundton (tonica), Secund, Terz, Quart, Quint, Sext, Septime, Octav. Die harte und weiche Tonleiter unterſcheiden ſich dadurch, daß die Terz bei letzterer niedriger iſt, weßhalb ſie da auch kleine Terz heißt, während der harten Tonleiter die große Terz zugehört. Nennt man den Grundton C, ſo heißt die Secund D, die Terz in der

harten Scale E, in der weichen Es, die Quart F, die Quint G, die Sext A, die Septime H, und die Octav wieder c. Von c an aufwärts folgen wieder d, e, f, g ꝛc. Mit dem Grundtone läßt ſich die Terz oder die Quint ſehr angenehm hören, und dieſe drei Töne zuſammen geben einen vollendeten *Dreiklang*; die Quart und Sext klingen mit dem Grundtone noch erträglich, aber die Secunde und Septime machen mit dem Grundtone verbunden einen widrigen Eindruck. Dieſe zwei letzteren Töne heißen daher *diſſonirende*, während erſtere *conſonirende* genannt werden.

431. Die relativen Tonwerthe der Glieder der Scale ſind folgende:

$$\begin{matrix} C, & D, & (Es) & E, & F, & G, & A, & H, & c. \\ 1, & \frac{9}{8}, & (\frac{6}{5}) & \frac{5}{4}, & \frac{4}{3}, & \frac{3}{2}, & \frac{5}{3}, & \frac{15}{8}, & 2. \end{matrix}$$

Wie man ſieht, ſind die Intervalle je zweier unmittelbar auf einander folgenden Töne nicht gleich groß; denn es zeigt ſich $\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$; $\frac{6}{5} : \frac{9}{8} = \frac{16}{15}$; $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$; $\frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9}$; $\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$; $\frac{4}{3} : \frac{6}{5} = \frac{10}{9}$; $\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9}$; $\frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8}$; $2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15}$. Das Intervall $\frac{9}{8}$, als das größte, heißt das eines *großen ganzen Tones*, das nächſtfolgende $\frac{10}{9}$ das eines *kleinen ganzen Tones*, das zunächſt kleinere Intervall $\frac{16}{15}$ das eines *großen halben Tones*, und das kleinſte $\frac{25}{24}$ das eines *kleinen halben Tones*. Das zwiſchen einem großen und kleinen ganzen Tone beſtehende Intervall nämlich $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ wird *Comma* genannt. Es ſind alſo die Intervalle CD, FG, AH große, DE, EsF, GA kleine ganze Töne; DEs, EF, Hc ſind große halbe Töne und EsE iſt ein kleiner halber Ton.

Von einem Tone auf die Octave oder auf die Quinte ꝛc. übergehen, heißt nach obigen Daten ihn mit 2 oder $^3/_2$ ꝛc. multipliciren. Durch Diviſion mit dieſen Zahlen wird der Ton um ein entſprechendes Intervall erniedriget. Iſt ein Ton gegeben, deſſen Höhe bezüglich des Grundtones durch eine Zahl ausgedrückt wird, die größer als 2 iſt, ohne ſelbſt eine Potenz von 2 zu ſeyn (in letzterem Falle wäre der Ton eine der höheren Octaven des Grundtones), ſo halbire man ihn fortwährend, bis der Quotient kleiner als 2, aber nicht kleiner als 1 wird. Darnach erkennt man leicht die Beſchaffenheit des Tones. So erhält man z. B. aus dem Tone 60 durch Diviſion mit $2^5 = 32$ den Quotienten $^{60}/_{32} = {}^{15}/_8$, und ſieht hieraus, daß der Ton die Septime in der fünften Octave über dem Grundtone iſt.

432. Daß die vorhin angegebene Tonleiter nicht alle Töne umfaßt, welche zwiſchen dem Grundtone C und ſeiner Octave c möglich ſind, ſpringt in die Augen; es reichen aber dieſe Töne auch nicht für die praktiſche Muſik hin, wie man leicht aus folgender Betrachtung entnehmen kann: Will man nicht C, ſondern einen andern Ton, z. B. G, zum Grundtone annehmen, und doch auf eine Art fortſchreiten, die von den bezeichneten Intervallen, wenigſtens nicht ſehr ſtark, abweicht; ſo muß man zwiſchen F und G einen neuen Ton einſchalten; denn es wird bei dieſer Annahme E die Sext, F die Septime und g die Octave; E und F ſind aber nach der angegebenen Tonleiter nur um einen halben Ton verſchieden, und ſollen es um einen gan-

zen ſeyn, während F und g um einen ganzen Ton von einander abſtehen und es nur um einen halben ſollen. Beiden Fehlern hilft man ab, wenn man F um einen halben Ton erhöht, das iſt, ſeinen Werth mit $\frac{25}{24}$ multiplicirt. Dieſelbe Erhöhung muß man mit mehreren andern Tönen vornehmen, wenn man D, A, E, H ꝛc. als Grundton annimmt, während man Töne um einen halben Ton vertiefen, d. i. ihren Werth mit $\frac{24}{25}$ multipliciren muß, wenn man einen Ton zum Grundtone annimmt, der in der Reihe der tieferen Quinten von C liegt, wie z. B. F. Man bezeichnet die Erhöhung eines Tones dadurch, daß man zu ſeinem Namen is, und die Vertiefung dadurch, daß man zu demſelben es ſetzt So bezeichnet cis, dis, fis das erhöhte c, d, f und es, hes, ges das vertiefte e, h, g. Durch Einſchaltung dieſer Töne in die übrige Tonleiter hat man in jeder Octave 22 Töne erhalten, deren Werthe und Namen folgendes Verzeichniß gibt.

Name.	Werth.		Name.	Werth.	
c	1	1.00000	ges	$\frac{36}{25}$	1.44000
cis	$\frac{25}{24}$	1.04166	g	$\frac{3}{2}$	1.50000
des	$\frac{27}{25}$	1.08000	gis	$\frac{25}{16}$	1.56250
d	$\frac{9}{8}$	1.12500	aes	$\frac{8}{5}$	1.60000
dis	$\frac{75}{64}$	1.17187	a	$\frac{5}{3}$	1.66667
es	$\frac{6}{5}$	1.20000	ais	$\frac{125}{72}$	1.73611
e	$\frac{5}{4}$	1.25000	hes	$\frac{9}{5}$	1.80000
eis	$\frac{125}{96}$	1.30208	h	$\frac{15}{8}$	1.87500
fes	$\frac{32}{25}$	1.28000	his	$\frac{125}{64}$	1.85313
f	$\frac{4}{3}$	1.33333	ces	$\frac{48}{25}$	1.92000
fis	$\frac{25}{18}$	1.38889	c	2	1.00000

Weil zwei Töne, wovon einer durch Erhöhung eines Tones, der andere durch Vertiefung des nächſt höheren entſtanden iſt, wie z. B. cis und des, fis und ges, ſehr wenig von einander abweichen; ſo gibt man ihnen in der Ausübung gewöhnlich nur einen Werth, und erhält dadurch in der ganzen Octave 12 Töne. Ihre Aufeinanderfolge macht die chromatiſche Tonleiter aus.

433. Wenn man auf irgend einem muſikaliſchen Inſtrumente, das mehrere Octaven umfaßt, nach reinen Verhältniſſen von einem Tone zum andern fortſchreitet, und auch die kleinſten Unterſchiede, z. B. die zwiſchen cis und des nicht vernachläßiget; ſo entfernt man ſich dabei doch immer mehr von dem reinen Verhältniſſe zum Grundtone. Wollte man z. B. nach reinen Quinten von C aus aufwärts gehen, ſo wäre der Werth der erſten reinen Quinte G $= \frac{3}{2}$, jener der zweiten d $= \frac{9}{4}$, der dritten a $= \frac{27}{8}$. Da a zugleich die Octave von der Sext A iſt, ſo müßte ſich der letztere Ton durch $\frac{27}{16}$ ausdrücken

laſſen, und es müßte dieſe Zahl mit $\frac{5}{3}$ übereinkommen, wenn bei einem reinen Quintenverhältniſſe auch das gegen den Grundton rein ausfallen ſoll. Es iſt aber $\frac{27}{16} : \frac{5}{3} = \frac{81}{80}$, und man hat ſich daher um dieſen Bruch, d. h. um ein Comma, vom reinen Verhältniſſe gegen C entfernt. Beim ferneren Fortſchreiten nach reinen Quinten häuft ſich dieſer Fehler noch mehr an. Iſt man durch 12 Quinten aufgeſtiegen, ſo kommt man auf die ſiebente Octave des Grundtones. Da die zwölfte Quinte den Werth $(\frac{3}{2})^{12}$, die ſiebente Octave den Werth 2^7 hat, ſo beträgt der ganze Fehler $(\frac{3}{2})^{12} - 2^7$. Weil nach dem Vorhergehenden nicht alle Octaven und Quinten zugleich rein ſeyn können, bei erſteren aber die geringſte Abweichung vom reinen Verhältniſſe dem Ohre unerträglich wäre; ſo vertheilt man obigen Fehler auf die Quinten, d. i. man temperirt ſie, und zwar entweder alle gleich, oder nur diejenigen, welche ſeltener vorkommen. Jenes geſchieht bei der gleichſchwebenden, dieſes bei der ungleichſchwebenden Temperatur. Das Temperiren wird daher durch die Ungleichheit der Intervalle nothwendig gemacht, und es iſt für jedes muſikaliſche Inſtrument, es mag eine beſtimmte oder unendliche Anzahl von Tönen haben, unerläßlich.

Den Werth n einer Quinte bei der gleichſchwebenden Temperatur findet man aus $n^{12} = 2^7$, und man bekommt $n = 1.49831$, welches vom wahren Werthe um $\frac{3}{2} - 1.49831 = 0.00169$ verſchieden iſt.

434. Da man durch das Gehör über die Uebereinſtimmung oder Nichtübereinſtimmung zweier Töne mit hinreichender Genauigkeit zu entſcheiden vermag, ſo lehrt die Vergleichung einer Reihe von Tönen mit denen eines gut getheilten Monochords die relativen Werthe dieſer Töne kennen. Iſt man nun im Beſitze der Kenntniß der abſoluten Höhe eines derſelben, ſo findet man daraus auch die abſolute Höhe jedes andern, indem man die abſolute Höhe des erſteren mit der relativen Höhe des letzteren multiplicirt. Die unmittelbare Beſtimmung der abſoluten Höhe eines Tones erfordert große Vorſicht und Aufmerkſamkeit; ſie kann mittelſt der Syrene, oder auch mittelſt eines dazu vorgerichteten Monochords, am beſten mittelſt des von Fiſcher angegebenen (Zeitſchr. 1. 184) bewerkſtelliget werden.

Man pflegt den Ton, welchen eine beiderſeits offene Orgelpfeife von 8 Pariſer Fuß Länge gibt, nämlich das ſogenannte große C, mit C zu bezeichnen. Die unter C ſtehenden Töne führen die Zeichen $\underline{H}$, $\underline{A}$, $\underline{G}$ ıc. $\underline{C}$, $\underline{\underline{H}}$, $\underline{\underline{A}}$ ıc. $\underline{\underline{C}}$; hievon heißt C das Contra C, $\underline{\underline{C}}$ das tiefe C. Die Octave von C wird durch c, die höheren Octaven werden durch $\bar{c}$, $\bar{\bar{c}}$ ıc. bezeichnet; dieſe Töne heißen kleines C, eingeſtrichenes, zweigeſtrichenes C u. ſ. f. Eine gleiche Bezeichnung und Benennung legt man auch den innerhalb der Octave darauf folgenden Tönen D, E, F ıc. bei. Das tiefe C iſt der tiefſte Ton, von dem man in der Muſik Gebrauch macht. Er heißt auch das 32füßige C, weil ihn eine beiderſeits offene Orgelpfeife von 32 Par. F. Länge gibt. Das tiefſte C eines Klaviers neueren Umfanges iſt das Contra C; der tiefſte Ton des Violoncells iſt das große C. Die Werthe der

vorgenannten Töne ſind folgende: $\underline{\underline{C}} = 16$, $\underline{C} = 32$, $C = 64$, $c = 128$, $\bar{c} = 256$, $\bar{\bar{c}} = 512$ u. ſ. w. Das höchſte C am Klavier (das viermal geſtrichene C) hat den Werth 2048, mithin das darauf folgende G, der Ton der letzten Klaviertaſte, den Werth $2048 \times \frac{3}{2} = 3072$. Dieſem nach entſprechen dem $\bar{a}$, welches der Ton iſt, den die a Saite einer Violine gibt, 426.7 Schwingungen in der Secunde. Nach Fiſcher's ſorgfältigen Verſuchen (Abhandl. der Berl. Akademie der Wiſſenſch. Berlin 1825) beträgt die Anzahl der Schwingungen für $\bar{a}$ nach der Stimmung der großen Oper zu Paris 431, nach dem Theater Feydeau 428, und nach dem italieniſchen Theater in Paris 424 Schwingungen; nach Scheibler's ſehr genauen Meſſungen macht der Ton $\bar{a}$ in einer Secunde 443.56 Schwingungen (Pogg. Ann. 32. 333). Der große Unterſchied zwiſchen dem berechneten und nach Verſuchen gefundenen Werthe liegt in der etwas willkürlichen Annahme des Grundtones. Der Umfang der für uns wahrnehmbaren Töne beträgt kaum 9 Octaven. Dem tiefſten Männertone entſprechen, wenn man dafür F annimmt, 86, dem höchſten ($\bar{a}$ als Bruſtton) 427 Schwingungen in der Secunde, dem tiefſten Tone eines Frauenzimmers hingegen (g) 192, dem höchſten $(\bar{\bar{\bar{e}}})$ 1280 Oscillationen, welche beiden Extreme ſich jedoch in der Regel nicht in einem Individuum vereinigt vorfinden. Die längſte Tonwelle in der Luft bei 16 Schwingungen in einer Secunde hat, wenn die Geſchwindigkeit des Schalles = 1024 P. Fuß angenommen wird, die Länge von 1024 : 16 = 64 P. Fuß, die kürzeſte beträgt 9 Linien.

E. Schwingungen ſelbſttönender Körper.

435. Die Schwingungen eines ſelbſttönenden Körpers ſind immer **ſtehende**. Aus 413 iſt klar, wie ſie aus fortſchreitenden entſtehen und worin ſie ſich von dieſen unterſcheiden. Solcher Schwingungen ſind die **Luft**, geſpannte **Saiten** und **Membranen**, **Stäbe**, ſowohl gerade als gekrümmte, wie Gabeln und Ringe, endlich **Platten** und zwar ebene und krumme, wie Glocken und Gefäße ꝛc. vorzugsweiſe fähig, daher auch dieſe beſonders betrachtet werden ſollen. Damit ſie nicht bloß ſchallen, ſondern auch tönen, müſſen ſie nicht nur einen angemeſſenen Grad von Elaſticität, ſondern auch eine paſſende Geſtalt haben, weil nur eine Reihe nach einem beſtimmten Geſetze periodiſch wiederkehrender ſchneller Stöße einen Ton geben kann. In einem nicht hinreichend elaſtiſchen Körper haben die reflectirten Wellen eine zu geringe Intenſität, als daß ſie mit den directen vollkommen ſtehende Schwingungen erzeugen könnten. Darum tönt eine Bleimaſſe nicht, ſelbſt wenn ſie wie immer geſtaltet iſt. In einem nicht paſſend geformten Körper treffen die reflectirten Wellen mit den directen nicht in den gehörigen Stellen zuſammen, ja es können in einem ſolchen unzählige Wellen von allen möglichen Richtungen und Phaſen zuſammentreffen und ſich demnach völlig aufheben. Darum ſucht man einen Glasklumpen vergebens zum Tönen zu bringen, während doch eine Glasplatte leicht dahin gebracht wird. Ueberhaupt muß die Geſtalt eines Körpers, der tönen ſoll, ſo beſchaffen ſeyn, daß die Stellen, wo ſich die Mitten der reflectirten und directen Welle ſchneiden und die

Knotenlinie bilden, den ganzen Körper in Stücke abtheilen, welche unter ſich und zum Ganzen in einem einfachen Verhältniſſe ſtehen. Es kommt aber auch auf die Art, Stärke und Richtung der Erſchütterung an, die einen Ton erregen ſoll. Dieſe muß immer ſo beſchaffen ſeyn, daß die Länge der urſprünglich erregten, fortſchreitenden Welle ein aliquoter Theil der ganzen Dimenſion iſt, nach welcher ſie ſich fortpflanzt. Werden mehrere Erſchütterungen hinter einander angebracht, ſo iſt es genug, wenn nur einige derſelben von der erwähnten Beſchaffenheit ſind, weil die zuerſt gebildeten ſtehenden Wellen bald die übrigen Stöße gehörig reguliren, wie dieſes beim Streichen mit einem Geigenbogen der Fall iſt. Da dieſen Bedingungen verſchiedene Wellen entſprechen, ſo wird ein tönender Körper ſich auf mehrere Arten abtheilen; es werden auch ſogar mehrere Abtheilungsarten an einem Körper zugleich vorhanden ſeyn können. Die urſprüngliche Erſchütterung muß auch nach einer Hauptdimenſion des betreffenden Körpers gerichtet ſeyn; darum gibt es faſt immer nur tönende Längen- und Querſchwingungen; nur bei runden Körpern ſind überdieß auch noch drehende Schwingungen bemerkbar.

436. Unter den tönenden Körpern iſt die Luft nur fähig Längenſchwingungen anzunehmen. Sie dient in den ſogenannten Blasinſtrumenten als tönender Stoff; denn dieſe Inſtrumente geben ſo lange denſelben Ton, als die darin enthaltene Luftſäule dieſelben Dimenſionen und dieſelbe Temperatur hat, das Materiale, woraus ſie beſtehen, mag wie immer verſchieden ſeyn; letzteres kann nur auf die Qualität des Tones Einfluß nehmen, wahrſcheinlich indem es durch ſeine Theilnahme an der Bewegung und durch Reibung das Geſetz der Bewegungsphaſen ändert. Die Luftſchwingungen in einem Blasinſtrumente werden erregt, indem man 1) die eingeſchloſſene Luftſäule an einem Ende durch Hineinblaſen verdichtet, wie dieſes bei Waldhörnern, Trompeten ꝛc. geſchieht. 2) Einen ſchmalen Luftſtrom vorbeiſtreichen läßt. Dieſes thut man in jenen Orgelpfeifen, die man Flötenwerke nennt, auch beim Hineinblaſen in einen Schlüſſel, in eine Flöte ꝛc. 3) Durch einen Luftſtrom, den man durch eine Spalte bläſt, ein elaſtiſches Plättchen in Schwingungen verſetzt, das die Oeffnung abwechſelnd herſtellt und ſchließt und ſo regelmäßig auf einander folgende Stöße auf die Luft in der Pfeife ausübet. Dieſes iſt bei den Rohrwerkpfeifen der Orgeln und bei den Blasinſtrumenten, welche Mundſtücke haben, der Fall. Durch eine ſolche Reihe abwechſelnd nach entgegengeſetzten Richtungen erfolgender Stöße wird auch der Ton in der ſogenannten chemiſchen Harmonica erregt, und jener, den ſtark erhitzte Feuchtigkeit enthaltende Glasröhren beim Abkühlen geben. 4) Indem man einen ſchon ſchwingenden Körper auf die Luft wirken läßt. So wird eine Orgelpfeife zum Anſprechen gebracht, wenn man eine ſchwingende Stimmgabel, die nahe den Ton der Pfeife gibt, vor ihre Mündung hält. In allen dieſen Fällen wird eine große Anzahl Luftwellen hinter einander hervorgerufen; haben dieſelben eine Länge, welche mit jener der Röhre, worin die zum Tönen zu bringende Luft

enthalten iſt, in einem ſchicklichen Verhältniſſe ſteht, ſo kommt die Interferenz der directen mit den reflectirten Wellen, worauf die Bildung der ſtehenden Oscillation beruht, wirklich zu Stande. Der Erfolg iſt jedoch verſchieden, je nachdem die Röhre beiderſeits offen, oder an einem Ende mehr oder weniger geſchloſſen (gedeckt) iſt, und richtet ſich überdieß nach der Geſtalt und den Dimenſionen der Röhre, nach der Beſchaffenheit ihrer Wände, nach der Temperatur und Natur der Luft, nach der Größe und Lage des Mundloches, und nach der Art des Anblaſens.

437. Wenn man eine beiderſeits offene, und eine gleich lange an einem Ende geſchloſſene, prismatiſche oder cylindriſche Pfeife, deren Durchmeſſer bedeutend kleiner iſt als ihre Länge, durch einen Luftſtrom zum Tönen bringt; ſo findet man, daß nach Beſchaffenheit des ſtärkeren oder ſchwächeren Anblaſens jede dieſer Pfeifen mehrere Töne geben kann, und zwar, daß dieſe Töne nach ihrer Höhe geordnet, der natürlichen Zahlenreihe 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. entſprechen, wovon die ungeraden Glieder der geſchloſſenen und die geraden der offenen Pfeife zugehören. Die Töne einer offenen prismatiſchen oder cylindriſchen Pfeife verhalten ſich daher unter einander ſelbſt wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 ꝛc. Haben zwei Pfeifen verſchiedene Länge und iſt dieſe bei jeder viele Male größer als die Dimenſionen ihres Querſchnittes, ſo verhalten ſich Töne deſſelben Ranges verkehrt wie die Pfeifenlängen. Verſuche, welche dieſes beſtätigen, macht man leicht mit einer Flöten-Orgelpfeife, die man ſowohl offen, wie auch an dem Ende mit einer ebenen Wand geſchloſſen gebraucht. Die Töne einer einfachen Trompete gehören hieher, doch kann auch die Röhre gekrümmt ſeyn, wie es bei dem Poſthorn, Waldhorn und der gewöhnlichen Trompete der Fall iſt. Dieſe Töne erklärt man ganz gut aus der Bildung ſtehender Longitudinalſchwingungen durch Interferenz der an dem Ende der Röhre reflectirten Wellen mit den directen. Doch darf eine Theorie dieſer Phänomene, die auf Genauigkeit Anſpruch machen will, nicht außer Acht laſſen, daß die größere oder geringere Beweglichkeit der Körpertheile, woran die Reflexion einer Luftwelle vor ſich geht, auf dieſe Welle einen bedeutenden Einfluß ausübt, und letztere an dem offenen Ende der Röhre, wenn die Länge der Welle unveränderlich gegeben iſt, z. B. wenn ſie ſtatt des Anblaſens durch die Schwingungen einer elaſtiſchen Platte erzeugt wird, eine Verzögerung erleidet, wodurch eine veränderte Stellung der Schwingungsknoten gegen das freie Ende entſteht, oder, falls die Erzeugung der Wellen durch einen Luftſtrom erfolgt, durch Rückwirkung auf dieſen die Wellenlänge ſelbſt abgeändert wird, alſo eine ganz andere Tonreihe ſich bildet. In der That erniedrigt die geringſte Verengung des offenen Endes einer tönenden Pfeife den Ton derſelben merklich, während die Wegnahme des Randes an dem Ende eines elaſtiſchen Stabes auf die Höhe ſeiner Longitudinaltöne keinen merklichen Einfluß hat.

Die Einrichtung einer Flöten-Orgelpfeife iſt aus Fig. 159 a und b zu erſehen; a ſtellt eine ſolche perſpectiviſch, b im Längendurchſchnitte

vor. Sie beſteht aus zwei Theilen, nämlich aus dem coniſchen unteren Theile A B C (dem Stiefel oder Windrohre) der unten offen, oben mittelſt einer Querplatte B C bis auf eine enge Spalte in der Nähe des etwas hineingebogenen Randes (der Lefze) geſchloſſen iſt, und aus der eigentlichen Pfeife B C D E, deren unterer, in der Nähe von B befindlicher Rand auch ein wenig eingebogen iſt, und ebenfalls eine Lefze bildet; zwiſchen den beiden Lefzen iſt ein Einſchnitt. Die Luft wird durch A in den Stiefel geblaſen, bricht ſich in B, dringt durch die viereckige Oeffnung heraus und erregt ſo in der Pfeife Schwingungen. Mit Leichtigkeit entſteht hiedurch nun eine gewiſſe Folge von Tönen, nämlich die durch die oben genannte Reihe beſtimmte, und ein Gleiches gilt auch von den Blasinſtrumenten, welche mit den Flöten-Orgelpfeifen in Hinſicht der Tonbildung übereinſtimmen. Um daher eine Mannigfaltigkeit von Tönen zu erhalten, wie ſelbe die chromatiſche Tonleiter fordert, ändert man theils die Länge der Pfeife entweder durch verſchiedene Auffätze (Waldhorn, Trompete), oder mit Hülfe eines verſchiebbaren Theiles (Poſaune), theils modificirt man durch Oeffnen und Verſchließen von Seitenlöchern die Länge der vibrirenden Luftſäule (Flöte, Klappentrompete), theils verengt man die Mündung der Röhre mehr oder weniger. Aus Letzterem erklärt ſich der Kunſtgriff der Waldhorniſten, mit der Hand am Trichter des Inſtrumentes den Ton etwas zu ändern, und das Stimmen einer Orgelpfeife durch Neigung einer bleiernen, auf ein Ende aufgeſetzten Platte. Kegelförmige oder pyramidale, offene Pfeifen geben, wenn man ſie an der engeren Seite anbläſt, wohl auch einen höheren Ton, als einerſeits geſchloſſene von denſelben Dimenſionen; jedoch hängt es von dem Neigungswinkel der Seitenflächen ab, um wie viel der Ton in erſteren höher iſt als in letzteren. Je größer dieſer Winkel iſt, deſto mehr Intervalle liegen zwiſchen dem Grundtone einer offenen und dem einer geſchloſſenen Pfeife. In der Regel betragen ſie mehr als eine Octave, können aber auch drei und mehr Octaven betragen.

438. Verſuche über die Anordnung der Schwingungsknoten der in einer Röhre vibrirenden Luft macht man nach Hopkins am einfachſten, wenn man eine 1½ Zoll weite Glasröhre, die mit einem Auszugrohre von Pappe oder Meſſing verſehen iſt, vertical befeſtiget, nahe unter ihr eine Glasplatte, durch deren Schwingungen die Luft in der Röhre in ſchwingende Bewegung verſetzt wird, anbringt, jedoch ſo, daß keine Knotenlinie unter der Mündung der Röhre vorbeigeht, dann einen mit einer zarten Membrane überzogenen Metallrahmen mittelſt eines dünnen Drahtes oder Fadens in die Röhre nach Bedürfniß einſenkt (Fig. 160). Die Membrane wird mit feinem trockenen Sande beſtreut, deſſen Bewegung oder Ruhe auf jene der Luft in der Röhre ſchließen läßt. Um die Membrane zu ſolchen Anzeigen nach Belieben empfindlich zu machen, muß der Rahmen geſtatten, ſie mehr oder weniger zu ſpannen oder die Länge ihres ſchwingenden Theiles zu verändern und dergeſtalt die Membrane zu ſtimmen. Je näher ihre eigenen Schwingungen mit jenen der Luft, deren Bewegung ſie anzeigen ſoll, harmoniren, deſto genauer gibt ſie den Zuſtand der Bewegung an verſchiedenen Orten in der Röhre an. Hiernach iſt es klar, wie man die Orte der ſtärkſten Bewegung und die Knotenflächen erkennt. Folgendes ſind die Ergebniſſe ſolcher Verſuche: 1) Die Kno-

ten ſind nicht Orte völliger Ruhe der Luft, ſondern Orte kleinſter Schwingung, und dieſe iſt an den Knoten geſchloſſener Röhren beträchtlicher. 2) Die Entfernungen je zweier benachbarten Knoten ſind einander gleich und entſprechen genau der Hälfte des Weges, den der Schall in der Luft während einer Schwingung der erregenden Platte zurücklegt. Nennt man dieſen Weg l (Wellenlänge), ſo iſt jene Entfernung $= \frac{1}{2}$ l. 3) Der Abſtand des letzten Knotens von dem Ende einer offenen Röhre iſt namhaft kleiner, als $\frac{1}{4}$ l; der Unterſchied zwiſchen beiden oder die Verſchiebung der Knoten nimmt bei einer und derſelben Röhre zu, wenn l vergrößert wird; bei verſchiedenen Röhren von gleicher Weite zeigt ſie ſich bei einerlei l conſtant; in engeren Röhren fällt ſie jedoch geringer aus als in weiteren. Hopkins fand für eine Röhre von 1.35 engl. Zoll Durchmeſſer bei den Werthen $\frac{1}{4}$ l = 2.044; 3.994; 4.82 Zoll, die Verſchiebung der Knoten = 0.365; 0.47; 0.59: für eine Röhre von 0.8 Z. Durchmeſſer hingegen erhielt er in den zwei erſten Fällen nur die Verſchiebung 0.08 und 0.1. 4) In einer geſchloſſenen Röhre iſt der Abſtand des letzten Knotens von dem Ende um ein Geringes größer als $\frac{1}{4}$ l. 5) Die Intenſität der Schwingung iſt am größten bei einer offenen Röhre, wenn deren Länge etwas kleiner iſt, als ein gerades Vielfaches von $\frac{1}{4}$ l; ändert ſich die Länge der Röhre, ſo nimmt die Intenſität der Schwingung ab und wird am kleinſten, wenn ſich die Länge der Röhre einem ungeraden Vielfachen von $\frac{1}{4}$ l nähert. Für eine geſchloſſene Röhre gilt das Umgekehrte. Es können daher in einer Röhre tönende Schwingungen von jeder Höhe zu Stande kommen, wenn ſie ihr durch einen ſelbſtſtändig ſchwingenden Körper aufgedrungen werden. Der Grund hievon liegt augenſcheinlich in der Theilnahme der äußeren Luft an der Geſtaltung der an ihr reflectirten Wellen. Hiernach erhellet die Unhaltbarkeit der älteren von Dan. Bernoulli und Euler gegebenen Theorie der ſtehenden Schwingungen der Luft in Röhren, wobei der erwähnte Einfluß der reflectirenden Subſtanz außer Acht gelaſſen wird, und ſelbſt die von Poiſſon an dieſer Theorie angebrachten Modificationen reichen nicht aus, ſondern man iſt zu anderen Vorausſetzungen genöthigt, wie ſelbe neueſtens von Hopkins verſucht worden ſind. (Poiſſon in Mém. de l'Acad. II. Hopkins in Pogg. Ann. 44. 256; im Auszuge in Dove's Repert. 3. 55.)

439. Gedeckte Flöten-Orgelpfeifen, deren Höhe von den Dimenſionen ihres Querſchnittes nicht viel abweicht, geben, wenn ſie ähnliche Geſtalten haben, Töne, deren Werthe mit den homologen Dimenſionen der Pfeifen in verkehrtem Verhältniſſe ſtehen. Bei parallelepipediſchen Pfeifen dieſer Art bemerkt man, daß ſie bei jeder Breite nahe denſelben Ton geben, wenn die Flächenräume der auf dieſe Dimenſion ſenkrechten Durchſchnitte, oder was daſſelbe heißt, die Producte der Höhe mit der Dicke gleich ſind. Vermindert man die Breite einer ſolchen Pfeife und mit ihr die Spalte, ohne an den übrigen Abmeſſungen etwas zu ändern, ſo findet keine Aenderung des Tones Statt. Kurze offene Pfeifen und ſolche, wo die Luftmaſſe an der Mündung

nur zum Theil erſchüttert iſt, geben nach Verſchiedenheit des Anblaſens und nach der Größe und Lage des Mundloches ſehr verſchiedene Töne. Man kann bloß durch Modification des Luftſtromes alle Töne innerhalb $1^1/_2$ — 2 Octaven hervorbringen. Dieſes zeigt ſich beſonders an jenem kleinen Inſtrumente, womit die Jäger die Stimmen verſchiedener Thiere nachahmen, welches aus einer 8—9 L. weiten, 4 L. hohen, hölzernen oder beinernen Röhre beſteht, die an beiden Enden mit ebenen Platten geſchloſſen und in der Mitte mit einem kleinen Loche verſehen iſt. Dieſes Inſtrument wird zwiſchen die Lippen genommen und gibt, je nachdem man ſtärker oder ſchwächer bläſt, eine große Mannigfaltigkeit von Tönen. Man kann ſeine Größe und Geſtalt auf vielfache Weiſe abändern, ohne eine andere Modification in der Wirkung des Inſtrumentes hervorzubringen, als die, daß ſich bei einem größeren Volum deſſelben tiefe Töne leichter hervorbringen laſſen, als höhere. Im Allgemeinen iſt der tiefſte Ton deſto tiefer, je weiter die Oeffnung iſt. Auf den Ton kurzer und weiter Pfeifen hat auch die Beſchaffenheit der Wände einen ſehr großen Einfluß. Sind dieſe einer verſchiedenen Spannung fähig, ſo kann der Ton bis zu einer gewiſſen Grenze deſto tiefer ſeyn, je geringer dieſe Spannung iſt. Mit der Erſchlaffung der Wände nimmt auch die Stärke der Töne ab. Iſt eine gewiſſe Grenze überſchritten, ſo verhalten ſich die Membranen der Seitenwände, wie offene Stellen. Demnach müſſen kurze und zugleich weite, kegelförmige oder pyramidale Pfeifen mit veränderlichem Neigungswinkel und mit elaſtiſchen Wänden den größten Tonumfang haben. (Liskovius in Pogg. Ann. 57. 497.)

440. Eine Zungenpfeife iſt ein aus zwei ſchwingenden Körpern, nämlich einer Luftſäule und einer elaſtiſchen Platte, beſtehendes Inſtrument; ſeine Tonhöhe muß demnach auch durch die Schwingungen dieſer beiden Beſtandtheile beſtimmt werden, welche durch ihre Verbindung fähig werden ſich gegenſeitig dahin abzuändern, daß ſie gleichzeitig ſchwingen. Die Tonhöhe einer ſolchen Pfeife hängt demnach von der Elaſticität und den Dimenſionen des Plättchens und von der Länge der ſchwingenden Luftſäule ab. Ein voller und ſtarker Ton einer ſolchen Pfeife wird bloß von den auf das Plättchen wirkenden Luftſtößen hervorgebracht, und ſeine Höhe wird faſt ganz allein durch die Schwingungen des Plättchens beſtimmt; denn dieſe Höhe ändert ſich nur ſehr wenig, wenn man die ſchwingende Luftſäule ganz wegnimmt, wie dieſes bei der ſogenannten Phyſharmonica der Fall iſt. Setzt man an das Mundſtück eine offene Röhre an, deren Luftſäule mit dem Plättchen im Einklange tönt und deren Länge $= a$ iſt, ſo wird dadurch der Ton um eine Octave tiefer. Nimmt man die Luftſäule anfangs kürzer als $^1/_4 a$ und läßt ſie allmälig bis a wachſen, ſo ändert ſich die Tonhöhe in der erſten Hälfte der Verlängerung nur ſehr wenig, in der zweiten aber bedeutend, im Ganzen um eine Octave. Hiemit iſt aber auch gewöhnlich die Tonreihe, welche man durch allmäliges Verlängern der Luftſäule hervorbringen kann, geſchloſſen. Geht dieſe Verlängerung über die angegebene Grenze hinaus, ſo ſpringt

der Ton plötzlich wieder auf den erſten zurück, und dieſer wird nur durch abermaliges Verlängern der Luftſäule tiefer. Wird die Luftſäule von a auf 2 a, 3 a ꝛc. verlängert, ſo ſinkt der Ton um eine Quart, um eine kleine Terz u. ſ. f. Es machen demnach die Zunge und die Luftſäule immer nur ein ſchwingendes Syſtem aus. (Weber in Pogg. Ann. 14. 397; 16. 193; 16. 415.)

Eine Zungenpfeife, auch Rohrwerkpfeife genannt (Fig. 161), beſteht aus einem Fuße A B C, durch welchen die Luft eingeblaſen wird und über welchem die eigentliche Pfeife ruht, die durch einen Stöpſel vom Fuße getrennt iſt. Die Communication zwiſchen beiden iſt aber nicht bloß, wie bei einer Flötenwerkspfeife, durch eine einfache feine Spalte hergeſtellt, ſondern durch eine hölzerne Rinne a b, welche durch den Stöpſel geht, und im Fuße mit einem elaſtiſchen Metallplättchen (Zunge) geſchloſſen iſt, das die Rinne mehr oder weniger ſchließt, je nachdem man die Krücke c weiter hinabdrückt oder hinaufzieht. Die ſogenannten Mundſtücke mancher Blasinſtrumente ſind wie eine ſolche Pfeife eingerichtet. An einigen wird das Plättchen ſelbſt in den Mund genommen, wie bei den Clarinetten, und dieſe verdienen im eigentlichen Sinne Mundſtücke genannt zu werden.

441. Der Ton einer Pfeife iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto höher, je größer die Ausdehnſamkeit der Luft im Vergleiche gegen ihre Dichte iſt. Deßhalb gibt eine Pfeife, die mit Waſſerſtoffgas anſpricht, einen höheren Ton als eine mit atmoſphäriſcher Luft, und eben deßhalb iſt der Ton einer Pfeife in warmer Luft höher als in kalter; darum erhöht ſich der Ton während des Anblaſens mit dem Munde. Auf hohen Bergen gibt eine Pfeiſe keinen tieferen oder höheren Ton als bei gleicher Temperatur an der Meeresfläche.

Die Tonhöhe in Pfeifen von gleichen Dimenſionen, die in verſchiedenen Luftarten anſprechen, hat man zur Vergleichung der Geſchwindigkeit des Schalles in dieſen Luftarten benützt, indem man von dieſen Tonhöhen auf die Anzahl der Schwingungen während einer Secunde ſchloß, und das Verhältniß dieſer, vorausgeſetzt, daß die Pfeifen Töne von derſelben Ordnung geben, z. B. jede ihren tiefſten Ton, als das Verhältniß der Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten der ſchwingenden Bewegung in genannten Medien betrachtete (vergl. 418 Anm.). Aus dem Vorhergehenden erhellet, mit welchen Vorſichten dieſes Verfahren zu gebrauchen ſey. Ueber die Anwendung der Verſchiedenheit des Tones einer Pfeife bei verſchiedenen Temperaturen zu pyrometriſchen Beſtimmungen (akuſtiſches Pyrometer) ſ. Pogg. Ann. 39. 580.

442. Die Inſtrumente, in welchen die Luft der tönende Körper iſt, haben das Eigene, daß ſie nicht wie Saiteninſtrumente nachklingen, ſondern zu tönen aufhören, ſobald die den Schall erregende Urſache aufhört zu wirken. Die Urſache liegt darin, daß die am offenen oder gedeckten Ende der Pfeife zurückgeworfene Welle ſtets ſchwächer iſt als die auffallende, von der ſie abhängt, daher ſie nach wenigen Reflexionen nicht mehr die zur Wahrnehmung eines Schalles nöthige Intenſität hat.

443. Da die Schwingungen der Luftſäule in einer Röhre im Grunde auf der Fortpflanzung der vibrirenden Bewegung eines Kör-

pers längs der Luftſäule beruhen; ſo entſteht, wenn dieſe Luftſäule genöthiget wird, gleichzeitig zwei verſchiedene Schwingungsweiſen fortzupflanzen, aus der Interferenz zweier Wellen ein beſonderes Phänomen. Sind die fortzupflanzenden Wellen gleich lang und gleich ſtark, und fallen correſpondirende Phaſen derſelben an einerlei Stelle, ſo verſtärken ſie ſich; kommen gerade entgegengeſetzte Phaſen zuſammen, ſo tritt Aufhebung der Bewegung ein und alle Fortpflanzung wird vernichtet. Hiedurch erklärt es ſich, wie zwei verſchiedene für ſich allein kräftige Schalläußerungen in einer und derſelben Luftſäule ſich wechſelſeitig tilgen können.

Hält man daher eine Röhre, welche durch eine vibrirende Platte leicht zum Anſprechen gebracht wird, über eine Knotenlinie derſelben, ſo daß dieſe mitten quer unter der Mündung der Röhre weggeht, ſo ſinkt die Intenſität des Schalles gewaltig herab; denn die an eine Knotenlinie grenzenden Theile der Platte ſind ſtets in entgegengeſetzten Bewegungszuſtänden, welche ſie der Luftſäule mittheilen. Noch beſſer dient eine Röhre, die oben mit einer Membrane geſchloſſen iſt und unten in zwei gleiche divergirende Schenkel ausgeht (Fig. 162). Hält man die Röhre über eine vibrirende Platte, ſo daß beide Schenkel über ſolchen Theilen der Platte ſtehen, die ſich in gleichen Bewegungszuſtänden befinden, ſo kommt der auf die Membran geſtreute Sand, vorausgeſetzt, daß die Röhre die ſchickliche Länge hat, in heftige Bewegung; ändert man aber die Stellung der Röhre, ſo daß ihre Schenkel über Stellen der Platte ſtehen, an welchen die Theile der Platte gleichzeitig entgegengeſetzte Bewegungen machen, ſo bleibt der Sand in Ruhe. Dieſer Verſuch läßt ſich noch auf mannigfaltige Art abändern. Eine lehrreiche Abänderung iſt folgende: Man nimmt eine Röhre, welche zwei rechtwinklige Biegungen macht, ſo daß ſie zwei parallele gleichlange Schenkel hat, die durch ein Querſtück verbunden ſind (Fig. 163). In der Mitte des letzteren bei m iſt eine Platte von der Form p eingefügt, durch deren Verſchiebung man nach Gefallen die Communication der beiden Theile der Röhre abſchließen oder öffnen kann. Thut man das erſte und hält die Mündungen beider Schenkel über die entgegengeſetzt vibrirenden Stellen der Platte, ſo hört man das Tönen der Luft in der Röhre ſehr ſtark, vorausgeſetzt, daß die Röhrenlänge gut zur Platte paßt. Gibt man aber der Scheidewand eine ſolche Stellung, daß beide Schenkel mit einander in Communication kommen, ſo hört das Tönen ſogleich auf. Im erſten Falle wird die Einwirkung der entgegengeſetzten Wellen auf einander gehindert, im andern Falle findet ſie Statt.

444. In die Klaſſe derjenigen Inſtrumente, in denen die Luft als ſchallender Körper wirkt, gehören auch die Stimmorgane der Thiere und des Menſchen. Das Stimmorgan des Menſchen beſteht aus dem Kehlkopfe, dem Schlunde und dem Munde. Die Lunge dient als Blasbalg, die Luftröhre als Windrohr. Der Kehlkopf iſt eine aus Knorpeln und Häuten gebildete Erweiterung des oberen Theiles der Luftröhre, über deren oberer Mündung zwei, einem Kreisabſchnitte ähnliche Häute, die Stimmbänder, ſo angebracht ſind, daß ſie die Luftröhre bis auf eine ſchmale Spalte, die Stimmritze, ſchließen können. Dieſe Bänder können geſpannt und nachgelaſſen werden, ſo daß ſich die Stimmritze verengen und erwei-

tern kann. Geht die Luft aus den Lungen ohne Gewalt durch die weit offene Stimmritze, ſo erfolgt kein Laut; wird aber aus den Lungen die Luft mit Gewalt ausgeſtoßen, ſo entſteht wohl ein Schall, aber kein Ton; das Huſten erfolgt auf dieſe Weiſe. Wird endlich die Stimmritze verengt und die Luft mit Gewalt durch ſie getrieben, dergeſtalt, daß ſie eine Zuſammendrückung erleidet (nach Cagnard-Latour beim gewöhnlichen Sprechen von nahe 5 Zoll, beim leiſen Sprechen von 1 Zoll Waſſerdruckhöhe), ſo erſcheint erſt der gehörige Ton. Die Luft ſchwingt im Stimmorgane, wie in einer coniſchen Zungenpfeife; doch gibt eine ſolche nur dann einen der menſchlichen Stimme ähnlichen Laut, wenn die Zunge beim Schwingen nicht auf den Rand der Rinne, welche ſie abwechſelnd öffnet und ſchließt, ſchlägt, ſondern ohne anzuſtoßen ein- und auswärts oscilliren kann (Willis in Pogg. Ann. 24. 397). Ungeachtet des geringen Rauminhaltes iſt doch das Stimmorgan vieler Töne fähig, weil ſein unterer Theil elaſtiſche Wände hat, die eine verſchiedene Spannung annehmen können, weil durch größeres oder geringeres Oeffnen des Mundes die Dimenſionen der Luftſäule bedeutend abgeändert werden können; endlich weil ſich der Stimmapparat mittelſt der Lippen bald ſchließen, bald öffnen läßt, und daher bald wie eine offene, bald wie eine geſchloſſene Pfeife wirkt. Die Wölbung des Schlundes und des Mundes, die verſchiedene Biegung der Zunge, und vorzüglich zwei am oberen Theile des Kehlkopfes frei in der ſchwingenden Luft hängende Häutchen bewirken die verſchiedene Articulation der menſchlichen Stimme. Unter den Thieren haben nur Vögel, Säugethiere und Amphibien eigentliche Stimmorgane. Die Vögel haben den Kehlkopf am unteren Theile der Luftröhre, einige derſelben haben auch die hängenden Membranen, die man im menſchlichen Stimmorgane findet; das Stimmorgan einiger Thiere beſteht nur aus einer paukenähnlichen Vorrichtung. (Savart in Zeitſchr. 1. 12.)

Schon um das Jahr 1770 haben ſich Kempelen und Kratzenſtein bemüht, Vocallaute künſtlich hervorzubringen, und in der neueſten Zeit haben Willis in England und Faber in Wien dieſe Bemühungen wiederholt, und Letzterer namentlich eine Maſchine conſtruirt, welche nicht nur jeden Buchſtaben des Alphabets, ſondern beliebige Worte vollkommen vernehmlich und ſogar mit einiger Accentuirung hervorbringt, ſo daß die Vollkommenheit der Leiſtung faſt nur durch die Fertigkeit desjenigen bedingt zu ſeyn ſcheint, der die Maſchine in Bewegung ſetzt. Der Bau dieſer Maſchine iſt jedoch bis jetzt noch nicht durch eine Beſchreibung veröffentlicht worden. Willis verband eine mit einer frei ſchwebenden, aber genau ſchließenden Zunge verſehene Röhre mit einem von der Zunge aus trichterförmig ſich erweiternden Raume, und deckte die Mündung deſſelben mit einem darauf verſchiebbaren Brete. Wurde die Röhre zum Anſprechen gebracht und die Trichteröffnung durch Verſchieben des Bretes allmälig vergrößert, ſo entſtanden deutlich die Vocallaute in der Ordnung A, E, I, O, U; ähnliche Wirkungen erhielt er, wenn er Röhre und Zunge in einem gegliederten Kolben anbrachte, der ſich in einem weiteren, dem Kolben genau anpaſſenden Rohre verſchieben ließ, und den Kolben

allmälig auszog. (Willis in Pogg. Ann. 24. 397. Dove's Repert. 3. 80.)

445. Geſpannte Saiten werden zum Behufe des Tönens in der Regel in Querſchwingungen verſetzt. Solche werden hervorgebracht, wenn man einen Geigenbogen rechtwinkelig auf die Saite aufſetzt und ſie damit ſtreicht. Sie ſchwingt dabei entweder der ganzen Länge nach, und nimmt dann bei der größten Excurſion die Geſtalt AFB und AfB an (Fig. 164), wo AB die ruhende Saite vorſtellt, oder ſie ſchwingt mit Schwingungsknoten. Mit einem Schwingungsknoten ſchwingt ſie ſo, daß ſie abwechſelnd die Geſtalt AFDfB, Fig. 165, und die entgegengeſetzte annimmt, mit zweien ſo, wie Fig. 166 zeigt. Man kann eine ſolche Unterabtheilung einer Saite leicht hervorbringen, wenn man ſie z. B. im vierten Theile ihrer Länge mit einem Finger ſanft berührt und den kürzeren Theil mit dem Bogen ſtreicht. Setzt man auf verſchiedene Puncte der Saite, mitunter auch auf die, welche ſie in vier gleiche Theile abtheilen, kleine Papierſtreifen wie Reiter und verfährt wie vorhin; ſo bleiben die auf die Viertheilungspuncte aufgeſetzten allein ſitzen, und die übrigen ſpringen herab. Jedes zwiſchen zwei unmittelbar auf einander folgenden Schwingungsknoten befindliche Stück einer Saite ſchwingt dergeſtalt, als ob bloß eine kürzere in dieſen Puncten befeſtigte Saite vorhanden wäre. Man kann die Anzahl der ſtehenden Schwingungen, welche eine transverſal ſchwingende Saite in einer Secunde macht, theoretiſch beſtimmen. Eine ſtehende Schwingung iſt nämlich eine ununterbrochen ſich wiederholende Durchkreuzung fortſchreitender Schwingungen. Da bei der ſtehenden Welle ein Hingang in einen Hergang an derſelben Stelle übergeht, während bei der fortſchreitenden ein Hingang hinter dem Hergange folgt; ſo muß die Zeit einer ſtehenden Schwingung gleich ſeyn jener, in welcher eine fortſchreitende Welle von doppelt ſo großer Länge vorübergeht. Iſt demnach l die Länge des ohne Knoten transverſal ſchwingenden Stückes der Saite, p ſein Gewicht, P das Gewicht, welches die vorhandene Spannung wirklich hervorbringt oder doch hervorbringen könnte, g die Acceleration der Schwere und c die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wellen; ſo iſt (nach 409) $c = \sqrt{\frac{gPl}{p}}$ Während der Zeit t einer Schwingung wird der Weg 2l zurückgelegt und daher iſt $t = \frac{2l}{c} = 2\sqrt{\frac{pl}{gP}}$. Werden in 1 Sec. n Schwingungen vollbracht, ſo hat man

$$1 = nt = 2n\sqrt{\frac{pl}{gP}} \text{ und } n = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gP}{pl}}.$$

Bezeichnet s das ſpecifiſche Gewicht des Materiales der Saite, und d ihren Durchmeſſer, ſo iſt, der cylindriſchen Form der Saite wegen, $p = \frac{1}{4}\pi d^2 l s$, mithin

$$n = \frac{1}{ld}\sqrt{\frac{gP}{\pi s}}.$$

Die Tonhöhe iſt demnach der Quadratwurzel der Spannung direct, und der Länge, der Dicke und der Quadratwurzel des ſpecifiſchen Gewichtes der Saite verkehrt proportionirt. Wird eine Saite zuerſt ihrer ganzen Länge nach, dann mit 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. Schwingungsknoten zum Tönen gebracht, ſo gibt ſie nach der Reihe den Grundton, die Octave, die Quinte der letzteren, die höhere Octave, deren große Terz u. ſ. w. Es kann ſogar eine Saite der ganzen Länge nach und zugleich in mehreren aliquoten Theilen ihrer Länge ſchwingen und dadurch gleichzeitig mehrere conſonirende Töne hören laſſen. Aus der Conſonanz der Töne, welche den genannten Schwingungsweiſen einer Saite entſprechen, erklärt ſich auch die Wirkung der Aeolsharfe, einer aus mehreren über einen Reſonanzboden geſpannten, gleichgeſtimmten Saiten beſtehenden Vorrichtung, welche einem Luftzuge ausgeſetzt in harmoniſchen Tönen erklingt.

Verſetzt man eine hinreichend lange, am beſten mit Metall überſponnene Darmſaite in Querſchwingungen; ſo hört man nebſt dem Haupttone, den ſie gibt, wenn ſie nach der ganzen Länge ſchwingt, mehrere höhere Nebentöne, und zwar, wie geſagt, die nächſt höhere Octave, die Quinte dieſer Octave u. ſ. w. Da nun die Spannung und Dicke der Saite unverändert geblieben iſt, ſo muß mit der ganzen Saite auch zugleich ein Theil ſchwingen, der die Octave, ein anderer, der die Quinte der Octave gibt u ſ. f., mithin muß ſie ſich in Stücke theilen, deren Länge $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ ꝛc. der ganzen Saite beträgt, und jeder Theil muß ſo ſchwingen, als wäre er für ſich beſtehend. Eine Saite, die der ganzen Länge nach und zugleich in aliquote Theile getheilt ſchwingt, muß nothwendig eine Geſtalt annehmen, die aus der Geſtalt, welche beiden Schwingungsarten zukommt, zuſammengeſetzt iſt. Hat z. B. die Saite A B (Fig 165) die Krümmung A H B, wenn ſie der ganzen Länge nach ſchwingt, hingegen die Geſtalt A F D f B, wenn jede ihrer Hälften ſchwingt; ſo entſteht aus dieſen beiden die Krümmung A E H e B, die man erhält, wenn man EC = GF und he = gf macht, endlich durch A, E, H, e, B die Curve zieht. Der Hergang der Bildung der ſtehenden Schwingung einer Saite aus den fortſchreitenden Wellen erklärt, wie es komme, daß die bloße Berührung einer geſtrichenen Saite in einem Theilungspuncte dieſelbe nöthiget, ſich in mehrere, gleichſam ſelbſtſtändig ſchwingende Theile abzutheilen. Daß eine tönende, nach der Quere ſchwingende Saite nicht gerade in der Mitte ihre größte Ausbeugung haben muß, und daß dieſe, der Tonhöhe unbeſchadet, an jeder Stelle zwiſchen den zwei Enden Statt finden kann, iſt für ſich klar. Eine Saite hat bei der größten Ausbeugung immer die größte Länge und Spannung. Ruhen die Enden einer Saite nicht auf ſcharfen, ſondern auf nach einem beſtimmten Geſetze abgerundeten Stegen; ſo muß ſich die Saite nach Maßgabe ihrer größeren oder kleineren Excurſion mehr oder weniger abwickeln, und ihre durch dieſes Abwickeln vermehrte Verlängerung kann durch die vermehrte Spannung genau compenſirt werden, ſo daß bei größeren und kleineren Excurſionen Töne von gleicher Höhe entſtehen. (Weber in Pogg Ann. 28 1.)

446. Man kann eine Saite auch in Längenſchwingungen verſetzen. Dieſes geſchieht, wenn man den Bogen unter einem ſehr ſpitzen Winkel auf die Saite aufſetzt und ſie damit ſtreicht. Dabei

ziehen ſich alle oder nur einzelne Theile der Saite abwechſelnd zuſammen, und dehnen ſich wieder aus. Schwingt die Saite A B (Fig. 167) ohne Schwingungsknoten, ſo ſtützen ſich ihre Theile bei der Bewegung an die befeſtigten Enden; berührt man ſie in der Mitte C leicht, ſo bildet ſich da ein Schwingungsknoten, und die Theile der Saite bewegen ſich abwechſelnd gegen und von einander, wie die Pfeile zeigen. Auf gleiche Weiſe kann man eine Abtheilung in 3, 4 ꝛc. Theile, mithin 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten erzeugen, wenn man die Saite in $^1/_3$ oder $^1/_4$ ꝛc. ihrer Länge ſanft berührt. Fig. 168 ſtellt die Schwingungsweiſe, wenn drei Schwingungsknoten vorhanden ſind, dar. Auch bei dieſen Schwingungen läßt ſich die in einer Secunde vollbrachte Anzahl derſelben auf theoretiſchem Wege beſtimmen. Man hat nämlich (nach 406) für die Geſchwindigkeit c, mit welcher ſich eine Längenſchwingung in einem elaſtiſchen Medium fortpflanzt, den Ausdruck $c = \sqrt{\frac{g}{k}}$, wo g die Acceleration der Schwere, k die Verkürzung bedeutet, welche eine Saite vom Querſchalle = 1 durch den Druck eines ihrem eigenen gleichen Gewichtes erleidet. Dieſe Formel iſt unbeſchränkt auf eine longitudinal ſchwingende Saite anwendbar, ſobald man nur unter k die Verlängerung verſteht, welche ein Stück der Saite von der Länge = 1 erfährt, wenn es durch ſein eigenes Gewicht gedehnt wird. Weiters hat man, wenn die Länge der Saite oder des ohne Knoten ſchwingenden Stückes l, die Zeit einer Schwingung t iſt, $t = \frac{2l}{c} = 2l\sqrt{\frac{k}{g}}$, und wenn in einer Secunde n′ Schwingungen vollbracht werden $1 = n'l\sqrt{\frac{k}{g}}$, woraus dann folgt:

$$n' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{k}}.$$

Die Geſetze der Längenſchwingungen haben mit denen der transverſalen nichts gemein, als daß ſich die Höhe des Tones nach der Länge der Saite richtet und die Schwingungszahlen dieſer Länge verkehrt proportionirt ſind; aber die durch Längenſchwingungen hervorgebrachten Töne ſind durchaus höher als jene, welche bei Querſchwingungen derſelben Saite entſtehen, gar nicht von der Dicke und bei langen oder ſchwächer geſpannten Saiten auch nicht von der Spannung, wohl aber vom Materiale der Saite abhängig. Man muß daher zu Verſuchen über dieſe Schwingungen, welche der Formel nicht widerſprechen ſollen, entweder ſehr lange Saiten nehmen, oder die Spannung nicht zu ſehr ſteigern.

447. Iſt l die Länge eines durch zwei Befeſtigungspuncte oder zwei Schwingungsknoten begrenzten Saitenſtückes, das aber ſelbſt keine Schwingungsknoten enthält, p deſſen Gewicht, P die Spannung im Gewichte ausgedrückt, g die Acceleration der Schwere; ſo wird die Anzahl der Schwingungen n, die ſie in einer Secunde beim transverſa-

len Schwingen vollbringt, ausgedrückt durch $n = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gP}{pl}}$. Nach Savart ſoll man eine ſolche Saite in zwei Zuſtänden betrachten, zuerſt als nicht elaſtiſch, aber geſpannt, und dann als nicht geſpannt, aber elaſtiſch. Bezeichnet man in obiger Formel $\frac{4pl}{g}$ durch C; ſo hat man $n = \sqrt{\frac{P}{C}}$ oder $P = n^2 C$. Wäre die Saite gar nicht ſteif, ſondern vollkommen biegſam, ſo könnte man ihr eine Spannung Q geben, durch welche ſie dahin gebracht würde, eben ſo zu ſchwingen, wie vermöge ihrer natürlichen Steifheit ohne Spannung. Iſt N die in letzterem Zuſtande vollbrachte Schwingungszahl, ſo hat man $Q = N^2 C$. Fügt man dieſer bloß ſteifen Saite noch die Spannung Q' hinzu, um ſie ſo ſchwingen zu machen, wie ſie dieſes unter der Spannung P und der natürlichen Steifheit thut, nennt aber die durch die Spannung Q' erzeugte Schwingungszahl N', ſo hat man wieder $Q' = N'^2 C$ und $Q + Q' = n^2 C$, woraus dann folgt: $n^2 = N^2 + N'^2$ (Savart in Pogg. Ann. 57. 403; 58. 252). Die Schwingungszahl n' einer ohne Knoten longitudinal ſchwingenden Saite wird ausgedrückt durch $n' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{k}}$, wo l und g die frühere Bedeutung haben, k aber die Verlängerung eines Saitenſtücks l der Länge = 1 bezeichnet, die es erfährt, wenn es durch ſein eigenes Gewicht gedehnt wird.

Die Längenſchwingungen ſtehen zu den transverſalen einer und derſelben Saite bei gleichen Umſtänden in einer ſolchen Beziehung, daß ſich das Quadrat der Schwingungsanzahl bei erſteren zum Quadrate der Schwingungsanzahl bei letzteren verhält wie die Saitenlänge zu der durch ihre Spannung erzeugten Verlängerung. Dieß iſt eine unmittelbare Folge der obigen Formeln. Denn bedeutet l die Länge, p das Gewicht der Saite, ſo hat ein Stück, deſſen Länge = 1 iſt, das Gewicht $\frac{p}{l}$. Da nun dieſes Gewicht an der Länge 1 die Dehnung k hervorbringt, ſo erhält die Länge l durch eben dieſes Gewicht die Dehnung kl. Nennt man nun λ die Verlängerung von l bei der Spannung P, ſo iſt $\lambda : kl = P : \frac{p}{l}$, mithin hat man $k = \frac{p\lambda}{Pl^2}$. Dieſes Reſultat in die Formel für n' eingeführt, gibt $n' = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gP}{p\lambda}}$. Hieraus und aus dem obigen Werthe für n, ergibt ſich $\frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{l}{\lambda}}$. Chladni hat über das Verhältniß der Tonhöhen transverſal und longitudinal ſchwingender Saiten mehrere Verſuche angeſtellt. Dieſem zu Folge iſt der Ton einer Meſſingſaite ungefähr um eine Sext höher als der einer gleich langen Darmſaite, und der einer Stahlſaite um eine Quart oder Quint höher als der einer Meſſingſaite. Zu einem practiſchen Gebrauche ſcheinen Bogenſchwingungen der Saiten nicht geeignet zu ſeyn. (Chladni's Akuſtik S. 76.) Die Schwingungen einer Saite

mögen transverſal oder longitudinal ſeyn, ſo bewegen ſich ihre kleinſten Theile doch immer nach der Länge und nach der Quere zugleich, indem bei jeder wie immer gearteten Schwingung nur eine Annäherung oder eine Entfernung der kleinſten Theile von einander Statt finden kann, und in ſofern iſt es wohl begreiflich, daß transverſale Schwingungen faſt immer von longitudinalen begleitet ſind und umgekehrt, ſo wie daß eine transverſal wirkende Kraft Längentöne erzeugen kann, und in ſofern beſteht das Tönen einer Saite allerdings in einer Molecularbewegung; aber dieſe Bewegung iſt in der That eine oſcillirende, weil die Theilchen nach einer und dann nach der entgegengeſetzten Richtung aus der Lage des Gleichgewichtes treten; der Inbegriff dieſer Bewegungen aller Theile macht nun die Bewegung der Saite aus, und dieſe iſt alſo auch eine oſcillirende. Darum ſagt man ſchlechtweg das Tönen einer Saite entſtehe durch die oſcillirende Bewegung derſelben. (Vergleiche Pelliſow in Schweigg. 67. 169.)

448. Eine ſchmale, nur der Länge nach geſpannte **Membrane** ſchwingt ſo wie eine Saite, und die Knoten aller Längenfaſern bilden eine Knotenlinie. Iſt dieſe Membrane breiter, ſo befolgt ſie in ihren Schwingungen Geſetze, wie elaſtiſche Scheiben, von denen in der Folge die Rede ſeyn wird. Eine allerſeits geſpannte Membrane, wie z. B. ein Trommelfell, kann einige Schwingungen annehmen, die mit denen der Saiten übereinkommen, und bei dieſen befolgen auch die Töne nach Riccati's Erfahrungen dieſelben Verhältniſſe, wie bei Saiten; aber einige Schwingungsarten weichen von denen an Saiten bedeutend ab, ja es ſind manche, die bei Saiten Statt finden, für geſpannte Membranen ganz unmöglich. Durch aufgeſtreuten Sand kann man die Schwingungsknoten an geſpannten Membranen ſichtbar machen. Dieſes geht beſonders leicht von ſtatten bei geſpannten, dünnen Häutchen aus Kautſchuk, die man durch einen Luftſtoß zum Tönen bringt, indem man in eine ſenkrecht gegen das Häutchen ſtehende, aber daſſelbe nicht berührende Röhre bläſt. (Marx in Pogg. J. 65. 148; 66. 109.)

449. Die Schwingungen **elaſtiſcher Stäbe** geſchehen nach anderen Geſetzen, als die der Saiten, weil ihre Elaſticität nach allen Richtungen, nicht bloß nach der Länge wirkt. Da ſie für ſich ohne künſtliche Spannung ſchon elaſtiſch ſind, ſo kann man die Verſuche mit ihnen auf mannigfaltige Art abändern; man kann ſie entweder an einem Ende oder nur in der Mitte oder an beiden Enden befeſtigen, an einem Ende an einen harten Körper anſtemmen, am anderen frei laſſen oder befeſtigen, oder endlich an beiden Enden anſtemmen.

450. Wenn man ſolche gleich dicke und gleichförmig dichte Stäbe, wie z. B. Stahl- oder Glasſtangen oder ſchmale Glasſtreifen, mit einem Bogen rechtwinklig ſtreicht; ſo geben ſie wahrnehmbare Töne, deren Höhe bei übrigens gleichen Umſtänden im geraden Verhältniſſe mit der Dicke und im verkehrten mit dem Quadrate der Länge ſteht. Sollen Schwingungsknoten entſtehen, ſo darf man den Stab nur an der Stelle, wo einer hinfällt, leicht berühren und ihn dann ſtreichen; an flachen Stäben kann man die Schwingungsknoten dnrch Sand ſichtbar machen. Da zeigt es ſich, daß ſich alle an einem parallelepipediſchen Stabe möglichen Knotenlinienſyſteme in gewiſſe Claſſen bringen

laſſen, nach Maßgabe der Anzahl der Stellen, wo ſie die Axe der ſchwingenden Fläche des Stabes ſchneiden. Die in eine Claſſe gehörigen ſchneiden dieſe Axe nicht bloß in gleich vielen, ſondern auch genau an denſelben Stellen. Mit der Anzahl der Schwingnngsknoten nimmt die Höhe des Tones zu. Den tiefſten Ton gibt daher ein Stab, der ohne Knoten ſchwingt, wie A B in Fig. 169. Iſt dieſer in A befeſtigt, in B aber frei, ſo macht er beim Schwingen mit ſeiner Richtung A B im ruhigen Zuſtande Winkel, deren Scheitel im befeſtigten Puncte A liegen; bei jeder anderen Schwingungsart wird dieſe Richtung in ſo vielen Puncten durchſchnitten, als Schwingungsknoten vorhanden ſind. Bei einem derſelben ſchwingt er, wie Fig. 170, bei zweien, wie Fig. 171 zeigt. Iſt der Stab in A bloß angeſtemmt, in B ganz frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingungsart ſchon einen Schwingungsknoten, aber ſeine Geſtalt weicht von der in Fig. 170 bezeichneten ab und iſt mehr gekrümmt, indem ſich da die Theile ſchon nahe am angeſtemmten Ende mehr von ihrer natürlichen Richtung entfernen können, als es im vorhin erwähnten Falle möglich war. Sind beide Enden des Stabes frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingung ſchon zwei Schwingungsknoten. Ein beiderſeits angeſtemmter Stab ſchwingt wie eine Saite, nur mit einer anderen Folge der Tonhöhen; ja ſelbſt wenn er an beiden Enden befeſtigt iſt, haben ſeine Schwingungen noch mit denen der Saiten viele Aehnlichkeit; es ſind aber ſowohl die Tonverhältniſſe, als auch die Krümmungen von denen eines beiderſeits bloß angeſtemmten Stabes merklich verſchieden. Spannt man einen dünnen, polirten Stahlſtab, z. B. eine durch Hämmern gehärtete Stricknadel, an einem Ende in einen Schraubſtock ein, und verſetzt ihn durch einen Hammerſchlag in Querſchwingungen; ſo kann man die Geſtalt deſſelben beim Oſcilliren und den Ort ſeiner Schwingnngsknoten genau ſehen. Hat er am freien Ende ein polirtes Knöpfchen, ſo gibt dieſes, vom Sonnenlichte oder von einer Kerzenflamme beleuchtet, beim Schwingen ſehr ſymmetriſche Figuren. Wheatſtone's Kaleidophon. (Schweigg. J. 50. 490.)

Die Tonhöhen eines einerſeits befeſtigten, andererſeits freien Stabes, der mit 1 oder 2 Schwingungsknoten ſchwingt, verhalten ſich, wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5; wenn er aber mehrere Knoten hat, vom zweiten an, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Iſt ein Ende angeſtemmt, das andere frei, ſo folgen die Töne auf einander, wie die Quadrate von 5, 9, 13, 17 ꝛc.; ſind beide Enden frei, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Die Tonreihe eines beiderſeits angeſtemmten Stabes folgt den Quadraten von 1, 2, 3, 4 ꝛc., die eines beiderſeits befeſtigten den Quadraten von 3, 5, 7 ꝛc. Ein einerſeits befeſtigter, andererſeits angeſtemmter Stab befolgt dasſelbe Geſetz der Tonreihe, wie ein einerſeits angeſtemmter, andererſeits freier. Die Lage der Knotenlinien eines elaſtiſchen Stabes kann man durch Verſuche, noch beſſer aber durch Rechnung beſtimmen. Daniel Bernoulli in Com. Acad. Petrop. tom. 8; Euler in Act. Acad. Petrop. 1779. 1. 103. Die Vergleichung der Reſultate mit der Erfahrung gibt Strehlke in Pogg Ann. 27. 505; auch in Dove's Repertorium 3. 108. Sehr wichtig ſind die neueren math. Arbeiten von Poiſſon

und Cauchy über dieſen und verwandte Gegenſtände. Die Reſultate der Rechnung und der zur Prüfung derſelben unternommenen Verſuche ſammt Angabe der Quellen findet man in Fechner's Repertor. 1. 264 u. f.

451. Reibt man einen elaſtiſchen, hinreichend langen, glatten, möglichſt geraden, dünnen Stab nach der Länge mit einem befeuchteten oder mit Harz überſtreuten Lappen; ſo geräth er in Längenſchwingungen. Glasſtreifen verſetzt man in ſolche Schwingungen am leichteſten durch einen Schlag oder durch Reiben eines mit demſelben der Länge nach verbundenen Glasſtabes. Bei dieſen Schwingungen theilt ſich der Stab nach Umſtänden in gleichmäßig ſchwingende Theile, die durch Schwingungsknoten von einander getrennt ſind, und läßt Töne hören, die unter einander in ſehr einfachen Verhältniſſen ſtehen. Um die Schwingungsknoten ſichtbar zu machen, wendet man Sand an oder ſteckt Papierblättchen daran, die ſich während der Schwingungen gegen die Ruheſtellen hinſchieben. Ein an einem Ende befeſtigter Stab ſchwingt entweder ſeiner ganzen Länge nach, oder er zeigt einen Schwingungsknoten, der um ein Drittel ſeiner Länge vom freien Ende abſteht (Fig. 172) oder deren zwei (Fig. 173) oder drei (Fig. 174) u. ſ. w. Dabei iſt das freie Ende ſtets halb ſo lang als jedes der zwiſchen zwei ruhenden Puncten liegenden Stücke, und die Schwingung beſteht in einem abwechſelnden Zuſammendrängen und Auseinandergehen der Materie des Stabes in der Nähe der ruhenden Puncte, wie es die beigeſetzten Pfeile angeben. Die Tonfolge entſpricht hiebei den Zahlen 1, 3, 5, 7... Iſt der Stab ganz frei, ſo bildet ſich bei der mit dem tiefſten Tone verbundenen Schwingungsweiſe ein Schwingungsknoten in der Mitte (Fig. 175); es können aber auch zwei, drei,... Schwingungsknoten Statt finden, wobei wieder das Geſetz obwaltet, daß jedes freie Stück die Hälfte eines zwiſchen zwei unbeweglichen Puncten enthaltenen iſt. Sieht man den tiefſten Ton, den der an einem Ende befeſtigte, am anderen freie Stab gibt, als Grundton an; ſo ſind die relativen Werthe der Töne des ganz freien Stabes 2, 4, 6,... und dieſelbe Tonfolge tritt auch ein, wenn der Stab an beiden Enden befeſtiget iſt. Die Töne bei ähnlichen Schwingungsweiſen gleich langer Stäbe hängen im Allgemeinen nicht von der Dicke derſelben, wohl aber vom Materiale ab.

Iſt l die Diſtanz zweier unmittelbar auf einander folgenden feſten Puncte oder die doppelte Länge eines freien Endes des Stabes, n die abſolute Tonhöhe, c die Geſchwindigkeit einer fortſchreitenden Welle im Stabe, ſo beſteht die Gleichung $c = 2nl$. Sie kann, wie Chladni zuerſt gewieſen hat, benützt werden, um die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalles in Stäben von verſchiedenem Materiale zu beſtimmen. Handelt es ſich bloß um eine Vergleichung dieſer Geſchwindigkeiten, ſo nehme man gleich lange Stäbe, und man hat, wenn c', n' einem zweiten Stabe derſelben Länge l gehören: $c : c' = n : n'$. Hier ſtehen alſo die Geſchwindigkeiten des Schalles mit den Tonhöhen bei gleicher Schwingungsweiſe in einerlei Verhältniß.

Die Anordnung der Schwingungsknoten und insbeſondere die Verſchiedenheit der Stellung derſelben, je nachdem die Enden des Stabes

unter gleichen oder verſchiedenen Umſtänden wirken, iſt eine Folge des Zuſammentreffens der directen Wellen mit den reflectirten, und der Verſchiedenheit der Stellung des verdichteten und verdünnten Theiles letzterer gegen die Richtung des Fortſchreitens der Welle, je nachdem die Reflexion an einem freien oder an einem feſten Ende eines Stabes vor ſich geht. Zur Erläuterung dieſes Gegenſtandes und zur Uebung in ſolchen Betrachtungen mögen die Figuren 143, 146, 147 dienen, welche die Entſtehung eines und zweier Schwingungsknoten an einem beiderſeits freien Stabe, und eines Schwingungsknotens, wenn ein Ende befeſtigt, das andere frei iſt, graphiſch darſtellen. In dieſen Figuren bedeutet die Ausbiegung der krummen Linie nach oben, Verdichtung, die nach unten, Verdünnung, deren Größen an jeder Stelle durch den Abſtand der krummen Linie von der geraden angezeigt werden. Die Pfeile geben die Richtungen der den Verdichtungen oder Verdünnungen proportionirten Geſchwindigkeiten der vibrirenden Theilchen in jeder einzelnen fortſchreitenden Welle an; es geht daher ein verdichteter Wellentheil nach der Richtung ſeines Pfeiles, ein verdünnter, dem Pfeile entgegen. Jene Stellen, wo beide auf einander einwirkende Wellen fortwährend mit entgegengeſetzten Pfeilen und gleich großen übereinſtimmenden Zuſtänden (Verdichtung oder Verdünnung) auftreten, ſind die Schwingungsknoten. Sie fallen in den in gleichen Zeitabſchnitten auf einander folgenden, an den Horizontallinien vorgeſtellten Phaſen der Bewegung in die durch die punctirten Verticallinien angegebenen Plätze. Die ſtarken Verticallinien entſprechen den Orten der ſtärkſten Bewegung der Theilchen, und man ſieht, daß dort die natürliche Dichte herrſcht, weil ſich daſelbſt gleichzeitig eine gleich große Verdichtung und Verdünnung einſtellt.

452. Außer den angeführten zwei Schwingungsarten ſind Stäbe noch einer dritten fähig, der **drehenden**. Man erregt ſie am leichteſten an cylindriſchen Stäben, die man an einem Ende in einen Schraubſtock einſpannt und am anderen in drehender Bewegung mit einem Bogen ſtreicht. Durch Berührung an Stellen, wohin Schwingungsknoten fallen, kann man auch eine Abtheilung in ſchwingende Theile bewirken.

Die Längen-, Quer- und drehenden Schwingungen elaſtiſcher Stäbe ſtehen, wie die analytiſchen Unterſuchungen von **Poiſſon** und **Cauchy** gelehrt haben, mit einander in einer ſolchen Verbindung, daß man aus der durch Erfahrung ausgemittelten Schwingungsanzahl bei einer dieſer Schwingungsarten auf die bei den anderen ſchließen kann, und die Ergebniſſe der Erfahrung bekräftigen die Reſultate der Theorie.

453. Die hier dargeſtellten Geſetze der Schwingungen gerader Stäbe befolgen auch die **gekrümmten**, nur mit dem Unterſchiede, daß die Schwingungsknoten, zwiſchen welche die Biegung fällt, durch die Krümmung einander näher gerückt und ſo die Töne erhöht werden. Davon überzeugt man ſich am leichteſten, wenn man eine Stange von Glas oder Metall nach und nach immer mehr biegt, und ſie bei jedem Grade der Biegung zum Tönen bringt. Ein gabelförmiger Stab, wie unſere Stimmgabeln, gibt den tiefſten Ton, wenn man ihn an einem Ende faßt und am andern ſchlägt oder mit einem Bogen ſtreicht. Einen höheren Ton gibt er, wenn er mit zwei Knoten, wie in Fig. 177, und einen noch höheren, wenn er mit vier ſchwingt, wie aus Fig. 178

zu erſehen iſt. Ein ringförmiger Körper theilt ſich beim Schwingen in 4, 6, 8... gleiche Bogentheile, die nach entgegengeſetzten Richtungen ſchwingen. Berührt man ihn an den Grenzen ſolcher Theile, und ſtreicht ihn an einer Stelle, die zwiſchen zwei ſolchen Grenzen liegt; ſo bekommt man einzelne Töne heraus, die den Schwingungen der Theile entſprechen und deſto höher ſind, in je mehr ſolche Theile ſich der Ring getheilt hat.

454. Bei der Erörterung der Geſetze dieſer Schwingungen betrachtet man gewöhnlich elaſtiſche Stäbe bloß als Linien, und ſieht dabei gleichſam nur auf die relative Bewegung der Theile, welche in einer der Längenrichtung des Stabes parallelen Geraden ſich befinden. Bei langen und dünnen Stäben kann dieſes auch ohne merklichen Fehler geſchehen; bei ſolchen hingegen, wo die Breite und Dicke ſo groß ſind, daß ſie einen merklichen Einfluß auf die Schwingungen des Ganzen nehmen, werden die aus ſolcher Vorausſetzung abgeleiteten Geſetze merklich modificirt. So ſind bei longitudinal ſchwingenden maſſiven Cylindern die Knotenlinien nicht, wie man es erwarten dürfte, Kreiſe, deren Ebenen auf der Axe des Cylinders ſenkrecht ſtehen, ſondern ſie weichen davon beträchtlich ab. Auch fallen die Schwingungsknoten an beiden Oberflächen eines hohlen Cylinders nicht in dieſelben Querſchnitte. Nach Poiſſon's Analyſe erfolgt während einer Längenſchwingung eines Stabes zugleich eine auf ſeine Axe ſenkrechte (normale) Schwingung, die mit jener iſochron iſt und dort die größte Ausbeugung verurſacht, wo bei jener ein Schwingungsknoten iſt und umgekehrt. Selbſt transverſale Schwingungen ſcheinen von longitudinalen und drehenden Verſchiebungen der Theile begleitet zu werden.

Sehr intereſſant ſind in erwähnter Beziehung die Reſultate, welche Savart (Ann. de Ch. 25. 255) über die Lage der Schwingungsknoten an Cylindern und langen Platten bekannt machte. Er hielt die zu unterſuchenden Cylinder horizontal, behing ſie von außen mit ſchmalen, ovalen Papierringen, vertheilte, wenn ſie hohl waren, im Inneren derſelben feinen Sand möglichſt gleichförmig, und ſtrich ſie der Länge nach. Dabei fand er, daß die Schwingungsknoten hohler Cylinder nicht an beiden Oberflächen in dieſelben Querſchnitte fallen, ſondern daß dort, wohin an der inneren Fläche ein Schwingungsknoten fällt, die Theile der äußeren Oberfläche die größte Bewegung haben. Als er eine ſolche Röhre um ihre Axe drehte, und in jeder Lage den Ort der Schwingungsknoten unterſuchte, überzeugte er ſich, daß die Knoten beider Oberflächen in ſchraubenförmigen Linien liegen, die aber nicht gleichförmig gebeugt um die Röhre herumgehen, ſondern meiſtens aus zwei Stücken beſtehen, wovon das eine in einem Querſchnitte der Röhre liegt, während das andere mehr gerade ausgeht. Fig. 176 zeigt dieſes für eine Oberfläche. Bei einigen Röhren, die man in der Mitte hält und an einem Ende ſtreicht, findet man die Schraubenlinie an einer Hälfte rechts, an der anderen links gewunden, und beide in der Mitte aufhörend; bei anderen findet man die Knotenlinie durch die ganze Röhre auf dieſelbe Weiſe gewunden. Die Gebrüder Weber (Wellenlehre S 555 und Schweigg. J. 44. 389; 45. 290 und 298) wollen an kurzen, weiten, ſehr regelmäßigen Röhren die Knotenlinien der inneren Wand quer um den Cylinder liegend gefunden haben, jedoch ſo, daß ſich jede derſelben nur auf den halben

Umfang eines Querſchnittes erſtreckte; für die andere Hälfte fiel ſie in einen anderen Querſchnitt. Von der ſpiralförmigen Anordnung der Knotenlinien bei den Längenſchwingungen der Cylinder fand Savart ſelbſt noch an ſchmalen, langen, ſchwingenden Platten eine Spur. Bringt man nämlich einen $^1/_2$—$^3/_4$ Z. breiten, langen, horizontalen und mit Sand beſtreuten Glasſtreifen zum Schwingen; ſo ordnet ſich der Sand in parallele, auf der Länge des Streifens ſenkrechte Linien. Merkt man ſich dieſe Stellen, kehrt dann den Streifen um und verſetzt ihn aufs Neue in Längenſchwingungen; ſo ſammelt ſich der Sand nicht mehr an den den vorigen gegenüber liegenden Stellen, ja wenn der Streifen 1—1$^1/_2$ L. dick iſt, ſo liegen die nun vorhandenen Knotenlinien genau der Mitte zweier vorhin entſtandenen gegenüber. An der ſchmäleren Seite der Platte liegen die Knotenlinien gar ſchief, als wollten ſie die den beiden entgegengeſetzten Flächen zugehörigen mit einander verbinden. An 1—2 Zoll breiten Streifen erſcheinen ſelbſt die Knotenlinien der größeren Flächen gebogen.

455. Wenn elaſtiſche Platten an einer oder an mehreren Stellen feſt gehalten und an einer anderen mit einem Bogen normal geſtrichen werden, ſo bilden die Knotenlinien, die durch aufgeſtreuten Sand ſichtbar gemacht werden, gewiſſe Figuren, welche man Klangfiguren oder insbeſondere nach ihrem Entdecker, Chladni'ſche Klangfiguren nennt, und aus denen man auf die Art der Bewegung der Platten ſchließen kann. Um dieſe Figuren rein hervorzubringen, gebraucht man am beſten Scheiben von grünem, dünnen Fenſterglaſe, denen der ſcharfe Rand benommen worden iſt; matt geſchliffene Glastafeln gewähren den Vortheil, daß man die Klangfiguren mit einem fein geſpitzten Bleiſtift nachzeichnen kann; es laſſen ſich aber auch Metallplatten und ſelbſt Holzſcheiben dazu braucheu. Man reicht meiſtens aus, wenn die Platten einen Durchmeſſer von 3—6 Zoll haben; nur für verwickelte Figuren braucht man größere, am beſten metallene Tafeln. Zum Beſtreuen ſolcher Platten wählt man meiſtens farbigen Streuſand, mit oder ohne beigemengte feine Staubtheilchen (Lycopodium), wohl auch letztere allein. Die Sandtheile häufen ſich an den Knotenlinien, die feinen Staubtheile (das Lycopodium) aber an den Stellen der ſtärkſten Bewegung an. Die Form der Klangfiguren wird durch die Lage des Entſtehungsortes der Wellen, durch die Länge der entſtandenen Wellen und durch die Geſtalt der Platte beſtimmt, wie man leicht einſieht, wenn man bedenkt, daß ſie aus dem regelmäßigen Zuſammentreffen der directen und reflectirten Wellen entſtehen. Daher geben Platten von verſchiedener Geſtalt auch verſchiedene Klangfiguren, daher laſſen ſich auch in derſelben Platte verſchiedene Klangfiguren hervorbringen, je nachdem man mit dem Bogen ſtärker oder ſchwächer, ſchneller oder langſamer ſtreicht, und dadurch gleichſam die Länge einer Welle beſtimmt, endlich die Lage des Punctes, wo man die Platte hält, gegen den, welchen man ſtreicht, abändert. Die Zeichnungen Fig. 179—185 ſtellen ſolche Klangfiguren an quadratförmigen und kreisrunden Scheiben vor, welche entſtehen, wenn man ſie in a hält und in b ſtreicht. Man kann die an einer Platte von beſtimmter Geſtalt hervorbringbaren Klangfigu-

ren, ähnlich denen an transverſal ſchwingenden Stäben, nach Maßgabe der Anzahl und Lage gewiſſer Puncte, wo Knoten hinfallen, in mehrere Claſſen bringen. So z. B. machen bei einer kreisrunden Scheibe alle bloß aus Durchmeſſern beſtehenden Figuren eine eigene Claſſe, die aus concentriſchen Kreiſen ohne Durchmeſſer beſtehenden eine andere, die aus Kreiſen und Durchmeſſern gebildeten wieder eine andere ꝛc. Die Klangfiguren beider Oberflächen liegen, wenigſtens bei dünnen Scheiben, genau über einander.

456. Die einfachſte Figur iſt immer von dem tiefſten Tone begleitet, den eine Scheibe gibt, und je zuſammengeſetzter eine Klangfigur wird, deſto höher fällt auch der Ton aus. So gibt eine Quadrattafel bei der Behandlung, wo auf ihr die Fig. 179 entſteht, den tiefſten Ton; ein höherer begleitet die Fig. 180 und ein noch höherer die Fig. 181. Doch gehört nicht zu jedem Tone eine eigene Klangfigur; denn ähnliche, jedoch ungleich große Scheiben geben bei gleicher Behandlung gleiche Figuren, aber Töne von verſchiedener Höhe; und in derſelben Scheibe kann man oft durch eine kleine Verrückung der gehaltenen Stelle eine Aenderung der Figur hervorbringen, ohne daß die Höhe des Tones nur im geringſten geändert wird. So geht in einer Quadrattafel die Fig. 182 alſogleich in 183 über, wenn man die feſtgehaltene Stelle a nur wenig einwärts rückt, und doch bleibt die Höhe des Tones unverändert. Die zu ähnlichen Klangfiguren gehörenden Töne von Platten aus derſelben Materie und von ähnlicher Form der Oberfläche verhalten ſich gerade wie die Dicken der Platten, und verkehrt wie die Quadrate homologer Abmeſſungen der Oberfläche. Die Knotenlinien ſind, nach Chladni, bald gerade, wie in Fig. 179 — 182, bald gekrümmt, wie in Fig. 183, und die Krümmungen können zu allerlei krummen Linien gehören; wenn ſie aber nicht in ſich zurückkehren, ſo erſtrecken ſie ſich immer bis an die Ränder der Scheibe und hören nie in derſelben auf. Die Entfernung einer Knotenlinie von einer anderen iſt immer ein aliquoter Theil jener Dimenſion der Platte, welche auf ihnen ſenkrecht ſteht. Verwickelte Klangfiguren haben das Eigene, daß ſie ausſehen, als wären ſie aus einfachen zuſammengeſetzt, die man an ähnlichen Tafeln erzeugen kann. So entſteht die Fig. 186, die man an einer etwas großen Quadrattafel erzeugen kann, auch, wenn man vier kleine Tafeln, an denen die Fig. 179 hervorgebracht wurde, ſo zuſammenſetzt, wie die ſtark ausgezogenen Linien zeigen.

457. Die feineren Staubtheile machen, wie ſchon vorhin geſagt worden, die Stellen der ſtärkſten Bewegung ſichtbar. Eine ſolche muß ſich natürlich zwiſchen zwei Knotenlinien befinden, und daſelbſt findet man, meiſtens in runden Häufchen, den feinen Staub geſammelt, wenn die Platte zu ſchwingen aufgehört hat; während des Schwingens derſelben bildet er kleine Wölkchen ober der betreffenden Stelle. Der Grund, warum ſich ſolche Staubwolken und Staubfiguren bilden, liegt nach Faraday in der mechaniſchen Wirkung der ſchwingenden Oberfläche auf die darüber befindliche Luft. Die im

Aufſteigen begriffenen Theile der ſchwingenden Platte treiben nämlich die darüber befindliche Luft vor ſich hin, und zwar an den Stellen der ſtärkſten Bewegung mehr als in der Nachbarſchaft der Knotenlinien. Bei dem Abwärtsgehen der ſchwingenden Theile kann aber die Luft nicht ſo ſchnell den Raum über den Stellen der ſtärkſten Bewegung ausfüllen, als dieß bei den Knoten der Fall iſt; es entſtehen daher von den Knoten aus zwei entgegengeſetzte Luftſtröme zu den Stellen der ſtärkſten Bewegung hin, führen den feinen Staub mit ſich und laſſen ihn an dieſen liegen. Die Richtigkeit dieſer Anſicht beweiſet der Umſtand, daß in ſtark verdünnter Luft ſelbſt der feinſte Staub nach den Knotenlinien wandert. Einen ähnlichen Grund haben die im Sonnenlichte beſonders deutlich hervortretenden Kräuſelungen, in welche eine auf einer ſchwingenden Platte befindliche tropfbare Flüſſigkeit geräth. (Faraday in Pogg. Ann. 26, 193, und Strehlke in Dove's Repertorium 3. 124.)

458. Die Schwingungen gekrümmter Tafeln, z. B. der Glocken, ſind ganz denen ähnlich, welche bei ebenen Flächen bemerkt werden. Eine Glocke theilt ſich beim Schwingen in eine gerade, größere oder kleinere Anzahl Theile, die zugleich mit dem Ganzen ſchwingen. Daher hört man bei einer Glocke außer dem eigenthümlichen, tiefſten Tone mehrere höhere, ja man kann ihr jeden dieſer Nebentöne für ſich entlocken, wenn man ſie an einem oder an zwei Puncten, wohin eine Knotenlinie fällt, ſanft hält und die Mitte mit einem Bogen in der Richtung des Durchmeſſers ſtreicht. Iſt ſie dabei mit Waſſer gefüllt oder mit angefeuchtetem Sande bedeckt; ſo werden die Knotenlinien durch das Kräuſeln des Waſſers oder durch die Anhäufung des Sandes ſichtbar. Durch das letztere Mittel kann man die ruhenden Stellen der äußeren und inneren Fläche zugleich ſichtbar machen, und ſich überzeugen, daß eine Knotenlinie der einen Fläche zwiſchen zwei Knotenlinien der anderen falle.

459. An Platten von beſonders ſymmetriſchem Baue, wie z. B. an kreisrunden Scheiben, an Glocken und Ringen, können die Knotenlinien, der Größe der ſchwingenden Theile und der Tonhöhe unbeſchadet, ihren Ort ändern. Man kann eine ſolche Bewegung der Knotenlinien wirklich hervorbringen, wenn man die Platte durch einen raſchen Bogenſtrich in Schwingungen verſetzt, den Bogen ſchnell zurückzieht, wieder einen Strich anbringt ꝛc. und ſo mehrmal hinter einander verfährt. Je ſchneller man ſtreicht uud den Bogen wieder zurückzieht, deſto ſchneller rücken die Knotenlinien fort. Wiederholt man dasſelbe Verfahren, ſobald dieſe Linie in Ruhe gekommen iſt; ſo kann man ſie neuerdings zum Weiterrücken bringen und ſie in einem ganzen Kreiſe herumführen. Erfolgen die Schwingungen langſam, ſo kann man dieſes Weiterſchreiten durch Lycopodium ſichtbar machen; bei ſchnellen Schwingungen hingegen ſieht man es nur, wenn man Sonnenlicht auf die Scheibe fallen läßt, und das Bild der Sonne beim Schwingen derſelben betrachtet. Auf einer kreisförmigen, runden Scheibe erſcheint dieſes oval, beim Schwingen aber (falls eine

ſternförmige Klangfigur entſteht) ſternförmig, und wenn die Schwingungsknoten weiter rücken, ſo nimmt auch dieſer Stern eine kreisförmige Bewegung an. (Savart in Zeitſchr. 4. 109.)

460. Die bisher betrachteten Schwingungen tönender Körper ſind nicht bloß wegen ihrer akuſtiſchen Beziehung intereſſant, ſondern auch darum, weil ſie uns ein ſehr leicht anwendbares und genaues Mittel darbieten, die Größe und Vertheilung der Elaſticität in einem Körper zu erkennen. Schneidet man von einem Körper nach verſchiedenen Richtungen parallelepipediſche Stäbe von gleichen Dimenſionen, und verſetzt ſie auf einerlei Weiſe in Schwingungen; ſo kann man aus der Tonhöhe bei einerlei Abtheilungsart der Stäbe auf ihre Schwingungsanzahl und daraus auf ihre Elaſticität ſchließen. Schneidet man von einem Körper gleichförmig dicke Kreisſcheiben und verſetzt ſie in Schwingungen, bei welchen eine aus diametralen Linien beſtehende Klangfigur entſteht; ſo müſſen dieſe Linien jede Richtung annehmen können, wenn die Scheibe allenthalben gleich elaſtiſch iſt. Nehmen jene Linien nicht jede Lage an, ſo beſitzet die Scheibe nicht allenthalben einerlei Elaſticität, aber man wird die Stellen der kleinſten und größten Elaſticität und das Geſetz ihrer Anordnung leicht ausfindig machen können. Durch dieſes Mittel erkannte Savart, daß Holz, kryſtalliſirte Körper, von denen er beſonders Doppelſpath und Bergkryſtall näher unterſucht hat, nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Elaſticität beſitzen.

Eine Scheibe, die ſenkrecht auf die Axe eines knotenfreien, mit vollkommenen Jahrringen verſehenen, cylindriſchen Holzſtammes geſchnitten iſt, hat offenbar parallel mit der Axe (und mit den Faſern des Holzes) eine andere Elaſticität, als in einer darauf ſenkrechten Ebene, und ſelbſt in dieſer Ebene kann die Elaſticität nach verſchiedenen Richtungen verſchieden ſeyn. Savart fand ſie mittelſt Stäben aus einem Buchenſtamme in einer auf die Faſern ſenkrechten Ebene nach einer Richtung = 1, nach einer darauf ſenkrechten = 2,25, in der Richtung der Faſern hingegen = 16. Macht man auf einer kreisförmigen gleichförmig dicken Metallſcheibe, auf welcher eine diametrale Knotenlinie jede Richtung annehmen kann, mit einer Säge parallele Einſchnitte, und ſchwächt dadurch nach der Richtung derſelben ihre Elaſticität; ſo kann eine aus zwei auf einander ſenkrechten Durchmeſſern beſtehende Klangfigur auf ihr nicht mehr jede beliebige Lage annehmen, ſondern es iſt immer eine Knotenlinie mit den Einſchnitten parallel, eine andere darauf ſenkrecht, und will man mit Gewalt dieſe Knotenlinie an einer anderen Stelle erzwingen, ſo gehen die Durchmeſſer in hyperboliſche Curven über. Demnach zeigen dieſe Durchmeſſer an ungleichmäßig elaſtiſchen Platten immer die Stellen an, wo die Elaſticität am größten oder am kleinſten iſt. Eine Holzſcheibe ſenkrecht auf die Faſern geſchnitten, hat meiſtens an jeder Stelle eine Klangfigur mit diametraler Knotenlinie, iſt alſo rings um das Centrum der Jahrringe gleich elaſtiſch; eine ſchief gegen die Faſern oder mit ihnen parallel geſchnittene thut dieſes nicht, iſt alſo auch nicht gleichförmig elaſtiſch. Platten aus Bergkryſtall, ſenkrecht auf die Hauptaxe des Kryſtalls geſchnitten, erſcheinen rings um die Axe gleich elaſtiſch, aber die der Axe parallelen Flächen haben ungleiche Elaſticitäten, wie auch eine ſchief gegen die Axe geſchnittene. Doppelſpath ſtimmt faſt

ganz mit dem Bergkryſtalle überein, und nur darin beſteht zwiſchen beiden ein weſentlicher Unterſchied, daß die kleine Diagonale der Rhomboederfläche beim Bergkryſtalle die Axe der größeren, beim Kalkſpath aber die der kleineren Elaſticität iſt. (Savart in Pogg. Ann. 16 206.)

461. Die tönenden Schwingungen können durch das Mittel, worin ſie vor ſich gehen, bedeutend modificirt werden, ſobald die Dichte deſſelben ſo groß iſt, daß es durch ſeine Trägheit und ſeinen Widerſtand darauf merklichen Einfluß nehmen kann. Man hat erfahren, daß die Tonhöhe eines Körpers deſto mehr durch Schallmittel geändert wird, je größer die in Bewegung geſetzte Maſſe des letzteren iſt. Longitudinale Schwingungen, welche das Mittel nur wenig in Anſpruch nehmen, erfolgen faſt in allen Flüſſigkeiten auf gleiche Weiſe und die Tonhöhe erleidet in denſelben keine merkliche Veränderung, während transverſale Schwingungen von dem Mittel, worin ſie Statt finden, in hohem Grade abhängen und bei übrigens gleichen Umſtänden von deſto tieferen Tönen begleitet ſind, je dichter das Mittel iſt. Uebrigens bilden ſich in jedem Mittel, ſelbſt wenn es tropfbar flüſſig iſt, am tönenden Körper bei gehöriger Behandlung Klangfiguren, und man kann ſie eben ſo wie bei Schwingungen, die in der Luft vor ſich gehen, durch Sand, den man durch die Flüſſigkeit auf den tönenden Körper gelangen läßt, ſichtbar machen. Doch ſind nicht alle Figuren, die ſich auf ſolche Weiſe zeigen, wahre Klangfiguren, d. h. ſolche, die aus Linien beſtehen, welche Knotenlinien bezeichnen, ſondern manche derſelben werden durch die Bewegung des Mittels bedingt, worin die Bewegung erfolgt.

F. Schwingungen mittönender Körper.

462. Die ſchwingende Bewegung eines tönenden Körpers kann einem daran grenzenden Stoffe nicht bloß in der Art mitgetheilt werden, daß er jene Bewegung fortpflanzt, ſondern auch ſo, daß er ſelbſt mitklingt und den urſprünglichen Schall verſtärkt. Man kann ſich von der Wirklichkeit der Mittheilung von Schwingungen in Körpern von der mannigfaltigſten materiellen Beſchaffenheit und von verſchiedenem Aggregationszuſtande durch mehrere Erfahrungen überzeugen. Bringt man eine Stimmgabel durch einen Schlag in Bewegung und hält ſie dann frei in der Hand, ſo hört man nur einen äußerſt ſchwachen Ton; ſetzt man ſie aber auf einen Kaſten von dünnem, elaſtiſchen Holze, z. B. auf den oberen Boden einer Violine, ſo erſcheint dieſer Ton viel ſtärker und anhaltender. Es müſſen alſo die Holzfaſern des Kaſtens in Bewegung geſetzt worden ſeyn. Der Ton der ſogenannten Mundharmonica (Maultrommel) iſt außer dem Munde nicht vernehmbar, im Munde hingegen, wo die Luft zum Mittönen gebracht wird, erſcheint er hinreichend ſtark und hörbar. Selbſt eine Stimmgabel tönt viel ſtärker, wenn man ſie vor den Mund oder vor das Mundloch einer Flöte hält. Der Ton einer Orgelpfeife theilt ſich einer geſpannten Membrane durch die Luft mit, und ſetzt darauf geſtreuten Sand in Bewegung. Dieſe Mittheilung findet auch unter einem ganzen

Syſteme von Körpern Statt, und es kann auch ein Mittönender einen andern mit ihm verbundenen zum Mittönen bringen. Schlägt man an einem Clavier, in deſſen Nähe eine Violine hängt, mehrere Töne an, ſo vernimmt man deutlich, daß die Violine mitklingt, und daß ſich ihre Saiten, wenn ſie nicht in ihrer ganzen Länge dieſen Ton geben können, in ſolche Theile abtheilen, die dazu geſchickt ſind. Man kitte auf eine kurze Glasſtange zwei kreisförmige Scheiben, ſo daß ihre Flächen auf der Axe der Stange ſenkrecht ſtehen, halte den Stab vertical und beſtreue beide Scheiben mit feinem trockenen Sande. Entlockt man nun einer dieſer Scheiben einen Ton, ſo ordnet ſich der Sand nach der ihren Schwingungen zugehörigen Klangfigur, allein nicht bloß auf der unmittelbar zum Schwingen gebrachten Scheibe, ſondern auch auf der mit ihr mittelbar verbundenen, und in beiden entſteht dieſelbe Klangfigur. In allen Inſtrumenten, welche Reſonanzböden haben, wird die Luft unter dem Reſonanzboden durch den ſchallenden Körper mittelſt des Bodens in Bewegung geſetzt; beſonders wenn die Saiten in einer gegen den Reſonanzboden ſenkrechten Ebene ſchwingen, wie beim Fortepiano, und man kann die mitgetheilten Schwingungen des Reſonanzbodens mittelſt metallener, gläſerner oder hölzerner Stäbe, die ihn berühren, weit fortleiten und ſo die Töne der Saiten in Oertern hörbar machen, wohin ſie durch die Luft oder durch Mauern nicht dringen können.

Dieſem Mittönen der Körper iſt es zuzuſchreiben daß die Stimme eines Menſchen in einem Zimmer ausgiebiger iſt, als im Freien, daß eine Muſik ſich in einem Orte beſſer ausnimmt als in einem andern. Daß an manchem Platze einige Töne mehr verſtärkt werden als andere, und daß ſelbſt an neuen muſikaliſchen Inſtrumenten manche Töne vorzüglich voll und rund klingen, kommt daher, daß jeder mitklingende Körper nur jene Töne begleiten kann, die er entweder ſelbſt zu geben im Stande iſt, oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen ſind, welche am mittönenden Körper Statt finden können. (Weber in Schweigg. J. 53. 327; Wheatſtone in Pogg. Ann. 26 251.)

463. Um den inneren Verlauf der Sache beim Entſtehen mittönender Bewegungen einzuſehen, denke man ſich einen begrenzten Körper, z. B. ein dünnes Bret, mit einem tönenden Körper in Berührung. Jeder Stoß, welchen dieſer Körper auf jenes Bret ausübt, erregt in demſelben eine fortſchreitende Welle. Dieſe erweitert ſich bis zum Ende des Bretes, wird daſelbſt in zwei Theile zerlegt, wovon einer in das angrenzende Mittel übergeht und den Schall fortpflanzt; der andere wird reflectirt und erzeugt, indem er directen, durch fernere Stöße von Seite des ſchallenden Korpers erregten Wellen begegnet und ſie durchkreuzt, jene einer ſtehenden gewiſſermaßen analoge Schwingung, in welcher das Mittönen beſteht. Die tactmäßig erfolgenden Stöße, welche dieſes Bret erfährt, zwingen es, auch auf eine Weiſe zu ſchwingen, die ihm im freien Zuſtande ganz fremd iſt. Daher entſtehen wohl auch auf dem mittönenden Körper Knotenlinien und Figuren, aber dieſe Figuren ſind oft von den an ſelbſttönenden Kör-

pern vorhandenen weſentlich verſchieden, und werden Reſonanzfiguren genannt. Dieſe Unterſchiede beſtehen darin, daß die Knotenlinien der Reſonanzfiguren nicht ſo regelmäßig ſind, wie die der Klangfiguren, daß ihre Zwiſchenräume nicht immer aliquote Theile der Größe der ſchwingenden Fläche ſind, daß eine Knotenlinie auch mitten im ſchwingenden Theile enden kann, und endlich, daß die Ruhelinien nicht immer Grenzen ſchwingender Theile ſind, ſondern auch von Bewegungen einzelner Theile herrühren können.

Zwei in einerlei Ebene mit einander verbundene Kreisſcheiben von einerlei Materie geben die Klangfigur 187, die man auch in jeder Scheibe für ſich unmittelbar erzeugen kann; bei einer geringen Verrückung des Bogens entſteht aber die Fig. 188, deren Hälfte man auf einer einzigen Scheibe nicht hervorbringen kann. In der Regel wird die, einem Körper eigene Schwingungsart durch Verbindung mit einem andern deſto mehr modificirt, je größer die angehängte Maſſe iſt. Dieſes zeigt beſonders folgender Verſuch: Verbindet man zwei Kreisſcheiben von ſehr verſchiedener Größe mit einander ſo, daß beide in derſelben Ebene liegen, und ſtreicht dann die größere mit einem Bogen, ſo entſteht auf ihr eine Klangfigur, die ihr auch für ſich ſelbſt zukommt; ſtreicht man aber die kleinere Scheibe und läßt ihre Bewegung der größeren mittheilen, ſo erhält man eine Figur wie 189, die weder in der größeren, noch in der kleineren Scheibe für ſich erzeugt werden kann.

464. Bei den mitgetheilten Schwingungen bewegen ſich alle Theile nach Richtungen, die unter ſich und auch mit jenen parallel ſind, welche den urſprünglich ſchwingenden Theilen zukommen. Wird eine Saite mit einem Ende an einen feſten Wirbel, mit dem andern an eine gläſerne oder metallene, längliche Platte befeſtigt, die ſelbſt am andern Ende eingeklemmt iſt, wie Fig. 190 zeigt, und hierauf mittelſt eines Geigebogens nach einer auf der Ebene der Platte ſenkrechten Richtung in Querſchwingungen verſetzt; ſo ſchwingt auch die Platte nach derſelben Richtung, wie man aus den Klangfiguren, die aufgeſtreuter Sand ſichtbar macht, beurtheilen kann, der immer vertical in die Höhe hüpft. Bringt man Querſchwingungen an einer vertical geſpannten Saite hervor und hält eine horizontale Glasplatte daran, ſo ſieht man auf dieſer den aufgeſtreuten Sand nicht in die Höhe hüpfen, ſondern nur horizontal fortgleiten, um ſich in Knotenlinien anzuordnen, die immer auf der Richtung des Bogenſtriches ſenkrecht ſtehen. Befeſtigt man in dem Mittelpuncte einer runden Metallſcheibe ſenkrecht auf ihre Ebene einen dünnen Holzſtab, und bringt man dieſen in Längenſchwingungen, ſo geräth die Scheibe in transverſale Oſcillationen, und darauf geſtreuter Sand ordnet ſich zu concentriſchen Kreiſen. Recht auffallend zeigt ſich die Wahrheit obiger Behauptung durch folgenden Verſuch, den Savart zuerſt anſtellte. Man befeſtige in der Mitte eines, mit einer geſpannten Saite in Verbindung ſtehenden Glasſtreifens A (Fig. 191) ſenkrecht darauf einen Streifen, an dieſen wieder einen mit dem erſten parallelen u. ſ. w. Wird nun A mittelſt der Saite in transverſale Schwingung verſetzt, ſo ſchwingen auch alle damit parallelen Stücke transverſal, alle darauf ſenkrechten aber

longitudinal. Das Gegentheil findet Statt, wenn A longitudinal ſchwingt.

Die bisher beſprochene Mittheilung der Bewegung geſchieht mit einer bewunderungswürdigen Regelmäßigkeit. Sind die Streifen b, b″ von gleicher Natur und von gleichen Dimenſionen, eben ſo auch b′ und b‴ unter einander, aber von erſteren verſchieden; ſo geben b und b″ dieſelben Klangfiguren und eben ſo auch b′ und b‴, aber die von b und b′ ſtimmen nicht mit einander überein, wiewohl ſie von derſelben Quelle, nämlich von A ausgegangen ſind; ja ſelbſt das Geſetz der ungleichen Anordnung der Knotenlinien auf den zwei Flächen eines Streifens, das für Längenſchwingungen Statt hat, wird hier aufs genaueſte beobachtet; denn wenn alle Streifen b, b′, b″, b‴ einander gleich ſind und longitudinal ſchwingen, ſo ſieht man auf den zwei einander zugewendeten Flächen zweier Streifen immer dieſelbe Anordnung der Ruhelinien, während die Flächen, welche nach einerlei Gegend hinſehen, eine verſchiedene Anordnung derſelben zeigen.

465. Wheatſtone hat in Betreff der Mittheilung tönender Schwingungen eine eigene Modification entdeckt, die er, wenn auch nicht ganz paſſend, Polariſation des Schalles nennt. Stellt man nämlich eine Stimmgabel auf das Ende eines langen, geraden Metalldrahtes, der auf einem Reſonanzboden ſteht; ſo theilt ſich der Laut der Stimmgabel nur dem Brete, nicht aber dem Drahte mit. Stellt man die Stimmgabel rechtwinklig mit dem Schafte auf ein Ende des Drahtes, ſo werden ihre Schwingungen durch den Draht dem Brete mitgetheilt, wenn die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, keineswegs aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken ſenkrecht ſteht. Dreht man die Stimmgabel ſucceſſiv aus einer Lage in die andere, ſo nimmt der Ton während einer ganzen Umdrehung zweimal ab und eben ſo oft zu. Biegt man den Draht, während die darauf ſtehende Gabel den ſtärkſten Ton gibt, ſo nimmt die Tonſtärke ab, iſt am ſchwächſten, wenn der Stab unter 90° gebogen iſt, wächſt wieder beim ferneren Biegen und erreicht ihr Maximum, wenn die beiden Drahthälften wieder parallel ſind. (Ann. de Ch. 23. 313. Schweigg. J. 47. 108.)

Auf der Mittheilung tönender Schwingungen beruht hauptſächlich die Verſtärkung des Schalles, welche man Reſonanz zu nennen pflegt, wiewohl auch die an hinreichend nahen Körpern reflectirten und für unſer Gehör mit den directen zuſammenfallenden Wellen daran nicht ſelten Antheil haben. Hiernach wird man leicht begreifen, wie ein Gebäude beſchaffen ſeyn muß, damit es eine gleichförmige, möglichſt ſtarke, dauernde Reſonanz habe, daß zur Erreichung dieſes Zweckes die Wände möglichſt glatt, nicht mit Tapeten behängt, nicht hohl ſeyn ſollen, und daß man das Volum des Raumes wohl zu berückſichtigen habe. Bei muſikaliſchen Inſtrumenten mit einem Reſonanzboden kommt es auf die Geſtalt und Größe des eingeſchloſſenen Luftraumes und auf die Lage ſeiner Oeffnungen vorzüglich an.

C. Wahrnehmung des Schalles.

466. Das Organ, welches zur Aufnahme hörbarer Eindrücke beſtimmt iſt, nämlich das Ohr, zerfällt in das äußere und das in-

nere Ohr. Das äußere beſteht aus der Ohrmuſchel und aus dem Gehörgange, das innere aus dem Trommelfelle, der Trommelhöhle, dem Labyrinthe und dem Gehörnerv. Die Ohrmuſchel iſt ein knorpeliger muſchelförmiger Anſatz, mit mehreren vertieften und hervorragenden Windungen, welche zu dem Gehörgange führen. Dieſer iſt ein anfangs knorpeliger und am inneren Ende knöcherner Kanal, der durch das Trommelfell geſchloſſen iſt. Hinter dem Trommelfelle beginnt die Trommelhöhle, in welcher ſich die Gehörknöchelchen, der Hammer, der Ambos, der Steigbügel und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Der Hammer theilt ſich wie ein Winkelhebel in zwei Arme, wovon einer am Ende mit dem Trommelfelle verwachſen, der andere aber in den Ambos eingelenkt iſt. Der Ambos iſt mit ſeiner Spitze durch das Sylviſche Bein (einem linſenförmigen Knöchelchen) mit dem Steigbügel verbunden. Alle dieſe Knöchelchen bilden gleichſam ein Hebelſyſtem, und ſind mit eigenen Muskeln zu ihrer Bewegung verſehen, wovon drei (der Spanner, der große und der kleine Erſchlaffer) zum Hammer gehören und einer zum Steigbügel. Die Trommelhöhle ſteht durch das ſogenannte ovale und runde Fenſter mit dem Labyrinthe in Verbindung. Das ovale Fenſter iſt durch die Fußplatte des Steigbügels geſchloſſen, das runde Fenſter aber mit einem Häutchen überſpannt, welches auch das zweite Trommelfell heißt. Eine andere Communication hat die Trommelhöhle mit der Mundhöhle durch die Euſtachiſche Ohrtrompete; ſie iſt darum ſtets mit Luft von gleicher Spannung mit der atmoſphäriſchen und von beſtändiger Temperatur verſehen. Das Labyrinth beſteht aus dem mit dem ovalen Fenſter verſehenen Vorhofe, aus den drei halbkreisförmigen, im Vorhofe entſtehenden und wieder dahin zurückkehrenden Kanälen und aus der Schnecke. Dieſe hat 2½ Windungen und iſt der Länge nach durch eine Scheidewand in zwei Theile getheilt, welche Treppen heißen. Die eine derſelben fängt am Vorhofe, die andere am runden Fenſter an. Beide ſind mit Nervenſubſtanz verſehen; übrigens iſt das ganze Labyrinth mit einer wäſſerigen Flüſſigkeit erfüllt. Außer dem Menſchen haben nur noch mehrere vierfüßige Säugethiere wahre äußere Ohren, bei den im Waſſer lebenden oder jenen, die darin leben können, iſt der Gehörgang mit einer eigenen Klappe verſchloſſen, bei den Vögeln erſetzt die äußerſt regelmäßige Stellung der Federn um den Gehörgang das äußerſte Ohr. Die vollkommeneren Thiere, wie die Säugethiere, die Vögel, viele Amphibien, haben ein Trommelfell, die Euſtachiſche Röhre und Gehörknöchelchen. Das Gehörorgan der Fiſche beſteht bloß aus drei ſehr anſehnlichen Bogengängen. Thiere ohne erdige Knochenmaſſe haben wahrſcheinlich kein Gehörorgan.

467. Ueber die Verrichtungen jedes einzelnen Theiles des Gehörorganes iſt man keineswegs ſo in Kenntniß, wie es zu wünſchen wäre. Am wahrſcheinlichſten iſt Folgendes: Die Schallwellen werden von der Ohrmuſchel aufgenommen und wie in einem Hörrohre concentrirt. Nach Savart wird die Muſchel ſelbſt in Schwingungen verſetzt und hat

die Beſtimmung, den ankommenden Schallwellen ſtets dieſelbe Fläche darzubieten und ſo die Intenſität des Schalles von der Neigung der Schallſtrahlen gegen das Ohr unabhängig zu machen. Der Gehörgang leitet die Schallwelle zum Trommelfelle, das dadurch in Schwingungen verſetzt wird und den Schall wahrnehmbar macht, gleichwie ein Blatt feines Papier, das man in der Hand hält, durch ſein fühlbares Zittern die Einwirkung eines Schalles verräth, der ſich unmittelbar dem Taſtſinne nicht verrathen hätte. Die Schwingungen des Trommelfelles ſcheinen mit denen des ſchallenden Körpers iſochron zu ſeyn. Sie theilen ſich den kleinen Knöchelchen mit. Um einen leiſern Schall wahrzunehmen, zieht der Spanner das Trommelfell einwärts und die Steigbügelmuskel den Steigbügel gegen das ovale Fenſter; die Schallwelle trifft dann nicht bloß das mehr elaſtiſche Trommelfell, ſondern ſie gelangt auch durch lauter feſte Körper, gleichſam durch Ein Mittel, bis zum Labyrinth und erleidet daher jene Schwächung nicht, die ſtets eintritt, wenn der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen muß. Um einen ſtarken Schall ohne Nachtheil zu empfinden, ziehen die Erſchlaffer das Trommelfell auswärts und dadurch den Steigbügel vom ovalen Fenſter zurück, ſo daß nun die Schallwelle nicht bloß ein ſchlaffes Häutchen trifft, ſondern auch noch von den Knöchelchen in die Luft und von dieſer wieder in einen feſten Körper übergehen muß, um ins Labyrinth zu gelangen. Daher kann ein ſolcher Schall dem Gehörorgane durch ſeine zu große Intenſität nicht gefährlich werden, wenn er daſſelbe nicht etwa unvorbereitet überraſcht. Die in der Trommelhöhle befindliche Luft bewirkt durch ihre unveränderliche Temperatur, daß alle Theile dieſelbe Elaſticität behalten und das Ohr die ſchon einmal wahrgenommenen Laute wieder erkennt; es ſcheint auch, als diene ſie zum Mittönen, wie die in einem Reſonanzkaſten eingeſchloſſene Luft. Im Labyrinthe befindet ſich die Schallwelle in einer tropfbaren Flüſſigkeit, die ſelbſt zu tönen vermag, und erfährt beim Fortgange durch die Bogengänge, welche eine heberförmige coniſche Röhre formiren, deren Scheitel nach einwärts gekehrt iſt, eine Verſtärkung, geht aber von dieſer Flüſſigkeit unmittelbar in den Nerv über, welcher in derſelben ſchwimmt, ſich unmittelbar an ſie anſchließt, und daher jene Continuität des Fortpflanzungsmittels bewirkt, die zur Erhaltung einer gewiſſen Schallſtärke unerläßlich iſt.

Auf dem hier vorgezeichneten Wege gelangt zwar die ſchwingende Bewegung in der Regel zum Gehörnerv, allein ſie kann auch durch die feſten Theile des Körpers dahin gelangen, ohne durch das äußere Ohr zu gehen. Man hört eine Stimmgabel, die man an die Zähne angeſetzt, und Harthörige oder gar Taube können die Töne eines Klaviers wahrnehmen, wenn ſie einen Stab an daſſelbe und zugleich an den Kopf halten. Um Zuhörern von den einzelnen Theilen des Gehörorganes deutliche Vorſtellungen zu verſchaffen, leiſten die in Dresden unter Hofrath Seiler's Leitung von Papaſchny verfertigten, die Naturgröße weit übertreffenden Gipspräparate vortreffliche Dienſte.

468. Wir beſitzen das Vermögen, gewiſſe, an feſte Geſetze gebundene Reihen von Stößen auf das Gehörorgan als Ton wahr-

zunehmen. Erfolgen mehrere Syſteme ſolcher Stöße zugleich, ſo empfinden wir ſie als Conſonanz oder als Diſſonanz, je nachdem die aus ihrer Zuſammenſetzung hervorgehende Bewegung wieder eine Reihe regelmäßig periodiſch wiederkehrender Stöße erzeugt oder nicht. Erſteres geſchieht in deſto höherem Grade und die Conſonanz iſt deſto vollkommener, an je einfachere Zeitverhältniſſe die Perioden der Stöße gebunden ſind, etwa ſo, wie die Ordnung der von zwei verſchiedenen Individuen zugleich verübten Hammerſchläge ſich leichter auffaſſen läßt und dieſe daher ſich in ihrem Zuſammenhange beſſer ausnehmen, wenn die Intervalle, die jeder einzeln beobachtet, mit einander commenſurabel ſind, als wenn im Ganzen keine oder eine nur ſchwer faßliche Ordnung herrſcht. Dieß iſt die natürlichſte Erklärung der Thatſache, daß die Conſonanz der Octave mit dem Grundtone als die vollkommenſte erſcheint, die Quinte dieſer zunächſt ſteht u. ſ. w.

Die Zahlen, welche in die harmoniſchen Verhältniſſe eingehen, ſind bloß die ſechs erſten der natürlichen Reihe, nämlich 1, 2, 3, 4, 5, 6. Mit der Zahl 7 fängt die Diſſonanz an. Dieß zeigt ſich deutlich an dem ſiebenten Tone der einfachen Trompete, der ſelbſt einem minder geübten Gehöre als ein falſcher erſcheint. Man kann die Wirkung der Conſonanz mit dem günſtigen Eindrucke vergleichen, den eine leicht faßliche Anordnung zweier Reihen gleichweit von einander entfernter Puncte, deren eine über der andern ſteht, auf unſer Auge macht. Sonach wäre die ſinnbildliche Darſtellung der Octave und der Quinte folgende:

Octave	. . . .
Grundton	. . . .
Quinte	. . . .
Grundton	. . . .

wobei die Folge der Puncte die Folge der Stöße jedes Tones anzeigt.

Treffend ſind daher des großen Leibnitz Worte: Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi .... Anima igitur etsi se numerare non sentiat, sentit tamen huius numerationis insensibilis effectum, seu voluptatem in consonantiis, molestiam in dissonantiis inde resultantem. (Epist. ad diversos 1. ep. 154.)

Wie ſehr die Wahrnehmung eines Tones von der oben ausgeſprochenen Bedingung des Zuſammenfließens der Empfindungen ſucceſſiver Stöße zu einem Ganzen abhängt, hat Savart durch Verſuche nachgewieſen. So wird gewöhnlich angenommen, daß zur Erzeugung eines Tones wenigſtens 16 Stöße in der Secunde erforderlich ſeyen, und man kann dieß auch als Regel zulaſſen; doch iſt es möglich, auch weniger Stöße zu einem Tone zu verbinden, wenn ſie das Gehörorgan nur kräftig genug afficiren. Dieß iſt der Fall, wenn ein maſſiver Stab von 2 bis 3 Fuß Länge um eine durch ſeine Mitte geführte Axe in Rotation verſetzt wird und dabei zwiſchen zwei Bretern, welche gleichſam eine Spalte bilden, ohne dieſelben zu berühren, hindurchgeht. Iſt die Spalte hinreichend eng, ſo entſteht bei jedem Durchgange in Folge der Erſchütterung der Luft ein intenſiver Schall, einem Knalle ähnlich, und man vernimmt da ſchon einen zuſammenhängenden Ton von auffallender Intenſität und Tiefe, wenn auch nur 7—8 Durchgänge binnen einer Secunde erfolgen, die eben ſo vielen Schwingungen entſprechen.

469. Daß wir mehrere, ja eine große Anzahl Töne und Laute aller Art auf einmal wahrnehmen und einen von dem andern unterſcheiden können, iſt eine einfache Folge der Zuſammenſetzung der Bewegung fortſchreitender Wellen. Werden nämlich an mehreren Stellen eines Mediums zugleich Schallwellen erregt, ſo pflanzt ſich jede unabhängig von der andern fort; treffen ſie irgendwo zuſammen, ſo durchkreuzen ſie ſich und ſetzen ihren Weg auch nach der Durchkreuzung unverändert fort, als hätten ſie ſich nie begegnet. Nur an der Durchkreuzungsſtelle wirken ſie wechſelweiſe auf einander ein und verſtärken oder ſchwächen ſich, oder heben ſich daſelbſt gar auf, je nachdem ſich die Theile der ſich ſchneidenden Wellenſtücke nach derſelben oder nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen, wie dieſes ſchon im Allgemeinen S. 324 erklärt worden iſt. Unſer Gehörorgan nimmt alle Wirkungen dieſer Zuſammenſetzung der Bewegungen, die in der mit ihm in unmittelbarer Berührung ſtehenden Luft vor ſich gehen, getreu auf; durch die Schwingung eines Lufttheilchens, das zu zwei oder mehreren der Phaſe nach übereinſtimmenden Wellentheilen gehört, wird es ſtärker afficirt; wenn aber auf das Lufttheilchen einander entgegenwirkende Phaſen übertragen werden, iſt der Eindruck ſchwächer. Jeder als ganze Maſſe ſchwingende Körper erregt zugleich zwei Wellen in der Luft, eine verdichtete und eine verdünnte. Kommen beide gleichzeitig zum Trommelfelle, ſo heben ſie ſich auf und man vernimmt keinen Schall, nur wenn eine davon unterdrückt oder wenigſtens geſchwächt wird, kann ein Schall wahrgenommen werden, deſſen Stärke dem Intenſitätsunterſchiede der beiden Wellen gleich iſt. Nach Kane ſollen alle zur Verſtärkung der Töne nnd zur Erzeugung von Reſonanz dienenden Mittel nach dieſem Princip wirken.

Hieher gehörige ſehr belehrende Verſuche kann man nach Seebeck (Pogg. Ann. 53. 417) mittelſt einer auf ihre einfachſte Form gebrachten Syrene anſtellen, die aus einer hölzernen, mit Blei beſchwerten, um eine Axe drehbaren Scheibe beſteht, an welcher ſich Scheiben von dünner glatter Pappe concentriſch befeſtigen laſſen, in die längs der Peripherie eines oder mehrerer concentriſchen Kreiſe Reihen von Löchern in mannigfaltiger Vertheilung, wie es die Abänderungen der Verſuche fordern, eingeſchlagen ſind. Die Axe wird mittelſt eines Wellrades und Schnurlaufes in Bewegung geſetzt, und die Bewegung mit Hilfe eines Windflügels regulirt. Die Töne werden hervorgerufen entweder indem man durch eine oder mehrere Röhren einen Luftſtrom gegen die in Drehung befindliche Löcherreihe leitet, oder indem man eine aus Kartenblatt geſchnittene Spitze ſo gegen die Scheibe hält, daß ſie in die Löcher einſchlägt. Läßt man nun von entgegengeſetzten Seiten zwei Luftſtröme gegen die Scheibe gehen, und hat man die Zuleitungsröhren ſo geſtellt, daß gleichzeitig ſtets zwei verſchiedene Löcher getroffen werden, ſo hört man keinen Ton, während ihn jeder einzelne Luftſtrom für ſich allein kräftig hervorbringt. Der urſprüngliche Ton erſcheint aber ſogleich und zwar verſtärkt, wenn die Löcher von den zwei entgegengeſetzten Luftſtrömen nicht gleichzeitig, ſondern alternirend getroffen werden. Sind auf einer Scheibe concentriſch zwei Löcherreihen angebracht, deren eine doppelt ſo viel Löcher hat, als die andere, ſo hört man bei dem Anblaſen von derſelben Seite her zwei Töne, deren einer die Octave des andern iſt; bei entgegengeſetztem

Anblaſen, ſo daß mit den in geringerer Anzahl vorhandenen Löchern immer eines der andern Reihe zugleich getroffen wird, verſchwindet der höhere Ton, und man hört den tieferen allein, welcher hier von jenen der für ſich den höheren Ton gebenden Löcher herrührt, deren Wirkung der Interferenz entſchlüpft. Leitet man gegen eine Reihe äquidiſtanter Löcher zwei Luftſtröme von derſelben Seite, ſo daß, wenn einer eine Oeffnung trifft, der andere mitten auf das Intervall zwiſchen zwei Löchern fällt, ſo hört man die Octave des Tones, den ein Luftſtrom für ſich allein gibt. Sind die Löcher einer Reihe nicht gleichweit von einander entfernt, ſondern wechſeln Intervalle von zwei verſchiedenen Größen mit einander ab, und man leitet einen Luftſtrom gegen die Scheibe, ſo hört man einen ſolchen Ton, als ob nur halb ſo viel Löcher da wären, deren Abſtand der Summe zweier benachbarten Intervalle gleich kommt, und wenn die Differenz der Intervalle nicht zu groß iſt, auch deſſen höhere Octave. Mit der ſo vorgerichteten Syrene läßt ſich bei unregelmäßiger Folge der Löcher zeigen, wie bedeutend die Abweichung vom Iſochronismus der Stöße ſeyn kann, ohne daß wir aufhören, einen gleichartigen Ton wahrzunehmen. Seebeck ließ die Intervalle zwiſchen zwei auf einander folgenden Impulſen bis zum Verhältniß 9 : 11 oder gar 5 : 7 variiren, und hörte noch immer den dem Mittelwerthe entſprechenden Ton, während bei ganz regelmäßigen Schwingungen das Verhältniß 9 : 11 mehr als eine kleine Terz, und 5:7 faſt eine halbe Octave beträgt. Mittelſt der Syrene läßt ſich auch klar zeigen, daß bei den Schwingungen der Saiten, Stäbe ꝛc. zu einem Stoße als Element eines Tones ein Hin- und Hergang nothwendig ſey; denn ſie entſprechen zuſammen dem Intervalle zwiſchen zwei Stößen der Syrene, weßwegen wir ſtets beide zuſammen für eine Schwingung gezählt haben. Aber auch wenn ein zwiſchen zwei Säulen raſch oſcillirendes Pendel durch die Schläge, die es gegen die Säulen macht, einen Ton erzeugt, entſpricht der Ton nur der halben Anzahl der Schläge, es ſind alſo zwei Schläge für eine Schwingung zu zählen. Obgleich hier getrennte Stöße gemacht werden, wirken die der Stellung nach, d. h. in Bezug auf das Vorausgehen der Verdichtung oder Verdünnung entgegengeſetzten Wellen auf das Ohr nur wie Beſtandtheile einer doppelt ſo langen Welle. (Vergl. Kane in Pogg. Ann. 55. 152.)

470. Pflanzen ſich daher zwei nicht ganz iſochrone Schwingungen bis zu unſerem Gehörorgane fort, ſo müſſen ſie ſich, indem bald Verdichtungen, bald Verdünnungen zuſammenkommen, abwechſelnd verſtärken und ſchwächen, und dadurch jenes periodiſche Anſchwellen und Nachlaſſen der Töne bewirken, welches man das Schweben derſelben nennt. Folgen die Momente, wo die Einwirkungen am meiſten übereinſtimmen, d. h. die Schwebungen und Stöße ſchnell genug auf einander, ſo begründen ſie das Entſtehen einer Reihe anderer Töne, die man Combinationstöne nennt. Von dieſer Art iſt z. B. jener Ton, der aus dem gleichzeitigen Ertönen des Grundtones und ſeiner Quint hervorgeht und der tieferen Octave gleich kommt. Da ſich nämlich die Schwingungszahlen des Grundtones und der Quint für dieſelbe Zeit wie 2 : 3 verhalten, ſo erfolgt nach je zwei Schwingungen des erſteren ein ſtärkerer Stoß (Hallſtröm in Pogg. Ann. 24. 438. Weber ebend. 28. 10. Scheibler ebend. 32. 333. Ohm ebend. 47. 463. Dove's Repert. 3. 1 u. 40).

Die Schwebungen hört man ſehr deutlich, wenn die Töne zweier Orgelpfeifen einander nahe gleich kommen oder einer reinen Conſonanz ſehr nahe ſtehen, ohne dieſe zu erreichen. Je weniger die Töne von der genauen Stimmung abweichen, deſto langſamer werden die Stöße, ſo daß man ſie bequem zählen und das zwiſchen ihnen verfließende Zeitintervall meſſen kann. Ein Gleiches läßt ſich an Stimmgabeln, Klavierſaiten ꝛc. wahrnehmen. Daher auch die Benennungen »gleichſchwebende« und »ungleichſchwebende« Temperatur (S. 316). Wird nämlich, um die Reinheit der Octaven zu erhalten, von der vollkommenen Reinheit der Quinten eines muſikaliſchen Inſtrumentes mit fixen Tönen abgegangen, aber der Fehler für alle Quinten gleich gemacht, ſo geben je zwei derſelben gleiche Schwebungen; da man dieſe hören kann, ſo hat man darnach ein Mittel, eine ſolche Stimmung zu bewerkſtelligen. In Betreff der Schwebungen beſteht die Regel, daß die Anzahl derſelben während einer gegebenen Zeit dem abſoluten Höhenunterſchiede der ſie erzeugenden Töne gleich iſt. Dieſe Regel läßt ſich recht gut an den Schwingungen zweier neben einander aufgehängten Pendel von nahe gleicher Länge anſchaulich machen. Zur graphiſchen Darſtellung der Combinationstöne verſchiedener Ordnung trage man für jeden der zwei erzeugenden Töne die Verdichtungen eines beſtimmten Lufttheilchens als poſitive, die Verdünnungen als negative Ordinaten an einer Axe auf, deren Abſciſſen die Zeit anzeigen, und verzeichne durch Summirung der zu jeder Abſciſſe gehörenden Ordinaten eine dritte Curve. Der Zug der verſchiedenen Gipfel der letzteren ſtellt den Gang der Eindrücke, welche das Gehörorgan nach einander erfährt, vor Augen, und man ſieht daraus, daß ſich die Sache ungefähr ſo verhält, wie wenn eine Saite zugleich in mehreren Syſtemen von Abtheilungen ſchwingt.

471. Durch das Gehörorgan nehmen wir auch die Richtung und Stärke der darauf erfolgten Stöße wahr und gründen darauf unſer Urtheil über die Richtung und Stärke des Schalles, letzteres natürlich nur bei gleicher Empfänglichkeit des Gehörorgans. Bezüglich der Richtung empfinden wir nur den unmittelbar auf das Organ ausgeübten Stoß, ſomit die Fortpflanzungsrichtung der Bewegung des Schallmittels zunächſt dem Ohre, nicht aber die etwa auf dem Wege vor ſich gegangenen Modificationen in dieſer Richtung. Darum iſt ſo leicht ein Irrthum in der Beurtheilung der eigentlichen Richtung einer Schallquelle möglich.

Ueber dieſes Kapitel ſind vorzüglich zu empfehlen: Chladni's Akuſtik. Leipzig 1802. 4. Deſſelben Beiträge der Akuſtik. Leipzig 1817. 4. Noch trefflicher iſt die von ihm ſelbſt veranſtaltete franzöſiſche Bearbeitung: Traité d'Acoustique par *E. F. Chladni*. Paris. 1809. Kurze Ueberſicht der Schall- und Klanglehre, nebſt einem Anhange, die Entwicklung und Anordnung der Tonverhältniſſe betreffend, von E. F. Chladni. Mainz 1827. Viel Lehrreiches enthält Weber's Wellenlehre zweiter Haupttheil. Eine Sammlung der akuſtiſchen Lehren bietet dar: Akuſtik mit ſorgfältiger Berückſichtigung der neueren Forſchungen, bearbeitet von Dr. H. E. Bindſeil. Potsdam 1839.

Naturlehre.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erſter Abſchnitt.

Magnetismus.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine magnetiſche Erſcheinungen.

1. Unter den Eiſenerzen findet man einige, welche von Natur aus die merkwürdige Eigenſchaft beſitzen, Eiſen anzuziehen. Man nennt ſie Magnete, und die Kraft, welche ſie auf das Eiſen ausüben, magnetiſche Kraft. Die meiſten derſelben ſind nur im Stande, ganz kleine Eiſenmaſſen an ſich zu ziehen und zu tragen; manche derſelben tragen aber Stücke von namhaftem Gewichte. Es läßt ſich weder aus ihrer Größe, noch aus ihrer Geſtalt auf die Stärke ihrer Kraft ſchließen. Starke Magnete findet man ſtets nur am Ausgange eines magnetiſchen Eiſenerzlagers oder, wie die Bergleute ſagen, zu Tage.

Außer der Kraft, Eiſen anzuziehen, haben die Magnete, jedoch nur im Zuſtande der Bewegung, die Fähigkeit, elektriſche Ströme zu erzeugen. Davon kann erſt in dem folgenden Abſchnitte, wo die Beziehung zwiſchen Magnetismus und Elektricität zur Sprache kommt, gehandelt werden.

2. Die magnetiſche Kraft äußert ſich ſchon in gewiſſer, nach Umſtänden ſelbſt in großer Entfernung vom Magnete mit merklicher Stärke und kleine Eiſentheile werden ſchon in bedeutenden Diſtanzen von einem Magnete afficirt. Dieſes findet ſelbſt dann noch Statt, wenn ſich zwiſchen dem Magnete und dem Eiſen andere Subſtanzen befinden, auf die ein Magnet keine merkliche Einwirkung ausübt; doch ſcheint nach Gintl's Verſuchen (Holger's Zeitſchr. 7. 1.) die magnetiſche Kraft hiebei eine Schwächung zu erleiden. Uebrigens bleibt eine Eiſenmaſſe, die mit einem Magnete in Berührung gebracht worden iſt und von demſelben getragen werden kann, bleibend an ihm hängen und es erfolgt nicht auf die Anziehung eine Abſtoßung, wie dieſes bei einer andern Naturkraft geſchieht, von der in der Folge die Rede ſeyn wird.

3. Ein Magnet hat nicht an allen Stellen dieſelbe Kraft, ſondern man findet dieſe ſowohl der Größe als der Richtung nach verſchieden, wenn man verſchiedene Stellen des Magnetes nach einander unterſucht. Die verſchiedene Größe der Kraft zeigt ſich theils durch Anhäufung ungleicher Mengen Eiſenfeile an verſchiedenen Stellen, theils dadurch, daß eine Eiſenmaſſe, die an einer Stelle von dem Magnete getragen wird, an einer andern daran nicht haftet. Auf Verſchiedenheit der Richtung kann man aus dem Umſtande ſchließen, daß ein Stückchen feinen Eiſendrahtes, welches in eine dünne, mit einem Stiele verſehene Glaskugel eingeſchloſſen iſt, an einigen Orten ſich normal gegen die Fläche des Magnets aufſtellt, an andern aber ſchief ſteht oder ſich gar legt. Erſteres findet in zwei einander entgegengeſetzten Stellen der Oberfläche des Magnetes Statt, wo ſich auch die Eiſenfeile am ſtärkſten anhäuft und die Tragkraft am größten erſcheint. Man pflegt dieſe zwei Stellen die Pole des Magnetes zu nennen. Nur ausnahmsweiſe kommen an demſelben Magnete mehr als zwei ſolche Pole vor, ein Umſtand, worüber erſt das Folgende Aufſchluß geben kann.

4. Betrachtet man die Art, auf welche die Eiſenfeile ſich an den Polen eines Magnetes anhäuft, genauer, ſo findet man, daß nicht alle Späne unmittelbar am Magnete ſelbſt hängen, ſondern daß mehrere derſelben der Länge nach an einander hängen. Dieſelbe Erſcheinung zeigt ſich, wenn man ein kurzes Eiſenſtängelchen mit dem Magnete an einem Pole in Berührung bringt. An dieſes Stängelchen läßt ſich ein zweites, und wenn der Magnet ſtark iſt, an letzteres ein drittes, viertes ꝛc. hängen, und dieß geſchieht ſelbſt dann noch, wenn auch das erſte Stängelchen den Magnet nicht unmittelbar berührt, ſondern demſelben nur ſehr nahe ſteht. Es erlangen daher die Eiſenſtängelchen, indem ſie dem Magnete nahe kommen, ſelbſt magnetiſche Kraft. Bei weichem Eiſen iſt dieſe Kraft nur vorübergehend, indem ſie bald verſchwindet, nachdem das Eiſen aus dem Bereiche der Wirkung des Magnetes gekommen iſt; beim gehärteten Stahl erſcheint ſie aber dauernd, beſonders wenn man ein Stängelchen deſſelben der Länge nach ein oder mehrere Male, jedoch ſtets in derſelben Richtung, an einem Magnetpole vorüber führt und es dabei an den Pol andrückt. Auf dieſe Erfahrung gründet ſich die Anfertigung künſtlicher Magnete im Gegenſatze mit den bisher betrachteten natürlichen, denen man eine bei weitem größere Kraft zu ertheilen vermag, als die ſtärkſten natürlich vorfindigen Magnete beſitzen. Wir werden daher in Folgendem ſtets vorausſetzen, daß man es mit einem künſtlichen Magnete zu thun habe, der entweder die Form eines geraden oder auch eines hufeiſenförmig gekrümmten Stabes mit gleich langen parallelen Schenkeln haben kann, und vor der Hand uns mit der Annahme begnügen, daß der Stab ſeinen Magnetismus durch Streichen mit einem Magnetpole der Länge nach erhalten habe. Die Pole liegen dann an den Enden des Stabes. Ein dünnes, gerades Magnetſtäbchen, das in einer horizontalen oder verticalen Ebene um eine Axe beweglich iſt,

heißt eine Magnetnadel. Im erſteren Falle gibt man der Nadel nicht ſelten ein Hütchen und läßt ſie mittelſt deſſelben auf einer Spitze ſchweben (Fig. 192), oder man hängt die Nadel an einem Faden auf.

5. Ein Magnet, der in einer horizontalen Ebene beweglich iſt, richtet ſich immer mit einem Pole gegen Norden, mit dem andern gegen Süden; deßwegen heißt man jenen ſeinen Nordpol, dieſen ſeinen Südpol, und dieſe ſeine Eigenſchaft überhaupt magnetiſche Polarität. Die Verticalebene, in welcher ſich die Pole einer frei hängenden Magnetnadel, als Linie betrachtet, befinden, heißt magnetiſcher Meridian. Vergleicht man dieſen mit dem geographiſchen Meridiane des Beobachtungsortes, ſo findet man, daß beide ſich unter einem Winkel ſchneiden, welcher die Abweichung (declinatio) des Magnetes heißt. Hat man eine Magnetnadel in ihrem Schwerpuncte ſo befeſtiget, daß ſie ſich um eine horizontale Axe drehen kann; ſo bemerkt man, daß ſich ihr Nordpol unter die Horizontalebene hinabſenkt. Der Winkel, welchen ſie mit dem Horizonte macht, wird die Neigung (inclinatio) der Nadel genannt. Eine Ebene, welche auf der Richtung einer im Schwerpuncte aufgehängten Magnetnadel ſenkrecht iſt, heißt der magnetiſche Aequator. Die Abweichung ſowohl als die Neigung gibt ſich auch bei jeder anderen Form des Magnetes zu erkennen, ſobald nur die Lage der beiden Pole bekannt iſt und der Magnet eine hinreichende Beweglichkeit beſitzt; doch kann die ſchärfere Beſtimmung dieſer Begriffe, da ſie jenen der magnetiſchen Axe vorausſetzt, erſt ſpäter gegeben werden.

6. Nähert man dem Nordpole eines hinreichend beweglichen Magnetes den Nordpol eines anderen Magnetes, ſo äußert ſich zwiſchen beiden eine Abſtoßung. Daſſelbe zeigt ſich, wenn der Südpol des einen dem Südpole des andern nahe kommt. Dagegen herrſcht zwiſchen einem Nordpole und einem Südpole Anziehung. Dieſe Erſcheinungen führen zu der Regel: Gleichnamige Magnetpole ſtoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an. Die Pole, welche ſich anziehen, werden auch freundſchaftliche, diejenigen, welche ſich abſtoßen, feindliche Pole genannt. Vermöge dieſes Geſetzes richten ſich zwei bewegliche Magnete, wenn ſie einander nahe ſtehen, immer ſo, daß ihre ungleichnamigen Pole einander zugewendet ſind. Ein Gleiches zeigt ſich, wenn bloß einer der Magnete beweglich iſt, an der Stelle, die er gegen den fixen Magnet annimmt.

Obiges Geſetz iſt zum Behufe vieler magnetiſcher Spielwerke angewendet worden; es gibt uns aber auch ein ſicheres Mittel an die Hand, zu erkennen, ob ein Körper magnetiſche Kraft beſitze oder nicht. Man darf einen ſolchen nämlich nur einem Magnete, der ſeine vermuthliche Stärke nicht um gar viel übertrifft, nähern, und ſehen, ob bei irgend einem Puncte eine Abſtoßung Statt findet. Nur in dieſem Falle ſind beide Körper magnetiſch. Auf die Anziehung kann man ſich bei dieſer Beurtheilung nicht mit Sicherheit verlaſſen.

7. Das Geſetz, nach welchem die Magnetpole auf einander einwirken, angewendet auf die beſtimmte Stellung, die eine Magnetna-

del gegen die Erde annimmt, führt zu dem Schluſſe, daß die Erde dabei wie ein Magnet wirke und daß daher die Nadel ſich ſo wende, damit ihre Pole den Polen der Erde, mit welchen ſie befreundet ſind, ſo nahe als möglich kommen. Es iſt leicht einzuſehen, daß der Nordpol eines Magnetes, und falls der Erde wirklich, wie einem anderen Magnete, Pole zukommen, der gegen Norden gelegene magnetiſche Pol der Erde freundſchaftliche, mithin ungleichartige Pole ſind, und daß man daher jenen Südpol nennen ſoll, wenn man dieſen Nordpol heißt. Indeß iſt es in Deutſchland Sitte, den nach Norden gewendeten Pol eines Magnetes Nordpol, den nach Süden gekehrten Südpol zu nennen. Man kann aber die magnetiſche Natur der Erde noch mehr durch folgende Erſcheinung bekräftigen: Hält man eine weiche Eiſenſtange in den magnetiſchen Meridian und gibt ihr eine Neigung gegen den Horizont, welche der Inclination des Magnetes gleicht; ſo lehrt die Erfahrung, daß ſie alſogleich magnetiſche Polarität zeigt, und zwar bekommt das nach Norden gewendete Ende den Nordpol, das entgegengeſetzte den Südpol, verliert dieſe Eigenſchaft aber augenblicklich, ſobald man die Stange aus dieſer Richtung in eine darauf ſenkrechte bringt. Eigentlich iſt eine Eiſenſtange nur in letzterer Lage ganz ohne magnetiſche Polarität, in jeder anderen beſitzt ſie dieſelbe in einem deſto größeren Grade, je mehr ſich ihre Richtung der zuerſt genannten nähert, in dieſer iſt ſie am größten. Durch mechaniſche Behandlung, z. B. durch Schlagen, Feilen, Drehen, Winden, ſchnelles Abkühlen 2c. wird die Empfänglichkeit für den Magnetismus in dieſer Lage erhöht, und derſelbe oft auch dauernd gemacht.

Die durch den Einfluß der Erde in den magnetiſchen Zuſtand verſetzte Eiſenſtange kann dienen, Stahl durch Streichen an ihr bleibend magnetiſch zu machen, woraus hervorgeht, daß man, ohne im Beſitze eines eigentlichen Magnetes zu ſeyn, dennoch ſich beliebig ſtarke Magnete verſchaffen könne, indem man den Magnetismus der Erde dazu dienſtbar macht. Ein eiſerner Draht erlangt ſchon magnetiſche Kraft, wenn man ihn mit einer Zange hält, die vom magnetiſchen Aequator abweicht, und es bekommt ſein oberes Ende einen Süd-, das untere einen Nordpol. Allein dieſer Magnetismus erlangt eine viel größere Stärke, wenn man den Draht in der genannten Lage ſchlägt, biegt, dreht, ſtreckt, feilt oder ſonſt mechaniſch verändert. Macht man Eiſen rothglühend und löſcht es in lothrechter Lage im Waſſer ab, ſo wird es magnetiſch, und das obere Ende erhält den Süd- das untere den Nordpol. Den ſtärkſten Magnetismus erlangt ein Eiſenſtab, wenn er vertical geſtellt wird und mit ſeinem unteren Ende auf einer anderen verticalen Eiſenſtange ruht, während man auf das obere mit einem Hammer ſchlägt. (Gilb. Ann. 67. 319; 68. 260.) Bei allen dieſen Operationen iſt es eigentlich der Erdmagnetismus, der magnetiſirend wirkt; die mechaniſche Behandlung des zu magnetiſirenden Körpers disponirt denſelben nur zur leichteren Hervorrufung ſeiner magnetiſchen Kräfte,

8. Eiſen und Stahl ſind nicht die einzigen Subſtanzen, welche in den magnetiſchen Zuſtand verſetzt werden können; man weiß mit voller Sicherheit, daß auch der Nickel dieſelbe Eigenſchaft beſitzt, und

ſie ſoll auch dem Kobalt, Chrom und Mangan zukommen. Gewiß iſt es aber, daß ſelbſt Eiſen, Stahl und Nickel nur unter einer gewiſſen Temperatur magnetiſch ſeyen oder es werden können, über dieſer aber nicht (natürlich magnetiſches Eiſenerz nur unter der Rothglühhitze, Eiſen unter der Hellrothgluth, Nickel nahe unter 330° C.), ſo daß man es für wahrſcheinlich halten kann, es gebe für jeden Körper eine gewiſſe Temperatur, unterhalb welcher er, ſo gut wie Eiſen, magnetiſch iſt, oberhalb welcher er aber dieſen ſeinen Magnetismus verliert.

9. Ueber den inneren Grund der magnetiſchen Phänomene läßt ſich nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe nichts vollkommen Gewiſſes ausſagen, ſondern man iſt genöthigt, zu einer hypothetiſchen Erklärung ſeine Zuflucht zu nehmen. Die Meinungen der Phyſiker über dieſen Gegenſtand ſind getheilt. Einige betrachten den Magnetismus als ein elektriſches Phänomen. Die Würdigung dieſer Anſicht ſetzt die Kenntniß der Elektricitätslehre voraus, daher wird erſt in dem folgenden Abſchnitte davon gehandelt werden. Nach der Meinung anderer Phyſiker wird zur Erklärung der magnetiſchen Erſcheinungen eine ungemein feine, unwägbare (ätheriſche) Flüſſigkeit angenommen, welche ſelbſt ein Gemenge aus zwei von einander verſchiedenen Theilen iſt, die als beſondere Flüſſigkeiten zu betrachten ſind. Die eine dieſer Flüſſigkeiten wird die nördliche oder poſitive, die andere die ſüdliche oder negative genannt. Um mittelſt dieſer Hypotheſe die magnetiſchen Erſcheinungen erklären zu können, muß man den magnetiſchen Flüſſigkeiten gewiſſe Eigenſchaften zuſchreiben. Man ſetzt ſie an den Magnet feſt gebunden voraus, weil ſonſt ein anderer Magnet nur die Fluida, nicht die Maſſe, worin ſie enthalten ſind, bewegen würde und es nicht möglich wäre, daß ein Magnet nichts von ſeiner Kraft verliert, wenn man mit ihm einen anderen magnetiſirt; man nimmt in einem Körper von jedem der beiden Fluida gleich viel an, weil ſonſt durch Magnetiſiren das Gewicht des Körpers geändert werden müßte; man läßt die zwei ungleichartigen magnetiſchen Flüſſigkeiten ſich anziehen, die gleichartigen ſich abſtoßen, um ſo dem in 6 erwähnten Geſetze zu genügen. Im natürlichen Zuſtande eines Körpers müſſen beide Fluida gleichförmig gemengt vorkommen, durch Magnetiſiren aber von einander geſondert werden. Dieſe Sonderung erſtreckt ſich aber nur auf ſehr kleine Räume, indem man ſelbſt beim Zerſchneiden eines Magnetes in die kleinſten Theile noch jedes mit beiden Polen, mithin mit beiden magnetiſchen Flüſſigkeiten verſehen findet. Die Körper ſetzen dieſer Sonderung der magnetiſchen Flüſſigkeiten einen Widerſtand entgegen, den man Coercitivkraft nennt und der von der Natur und der Temperatur des betreffenden Körpers abhängig befunden wird.

Man kann nicht läugnen, daß dieſe Hypotheſe den Vortheil gewährt, die verſchiedenartigen magnetiſchen Phänomene unter einen gemeinſchaftlichen Geſichtspunct zuſammen zu faſſen, doch halte ich ſie nicht für beſſer als die glücklicher Weiſe längſt verſchollene Hypo-

theſe, nach welcher man die Phänomene der Schwere durch Annahme einer ſchwermachenden Materie zu erklären geſucht hat. So wie man heut zu Tage am beſten zu thun glaubt, die Erſcheinungen der Anziehung der Maſſen aus der jedem materiellen Theilchen eigenen Anziehungskraft zu erklären; eben ſo dürfte es am gerathenſten ſeyn, den Magnetismus der Körper aus den magnetiſchen Kräften ihrer Molekel abzuleiten, letztere aber als eine Fundamentaleigenſchaft der Materie anzuſehen, vermöge welcher jedes Molekel an den beiden Hälften, aus denen es beſtehend gedacht werden kann, entgegengeſetzte Kräfte enthält und demnach ſchon ſelbſt, wie ein Magnet erſcheint. Daß ſich die magnetiſche Kraft der Körper nicht immer äußert wie die Schwere, mag daher kommen, daß entweder der polare Zuſtand der Molekel in der That nicht immer vorhanden iſt, ſondern erſt hervorgerufen werden muß, oder daß die beiden entgegengeſetzten Kräfte ſich bei der gewöhnlichen Lage der Molekel gegen einander ſo binden können, daß ſie gar nicht nach außen wirken und erſt einer beſonderen Anordnung bedürfen, um ſich im Ganzen als Magnet zu äußern. Eine ſolche Bewegung der Molekel oder der polare Zuſtand derſelben wird durch das ſogenannte Magnetiſiren bewirkt. Die Körper widerſtreben vermöge der ihnen ſonſt noch eigenen Kräfte dieſer Anordnung und bei manchen läßt ſie ſich gar nicht durch die uns zu Gebote ſtehenden Mittel bewerkſtelligen. Dieſer Widerſtand erſcheint uns als Coercitivkraft. Eine nähere Erläuterung wird die Electricitatslehre gewähren. Ich ziehe es dieſer Anſicht gemäß vor, immer nur von magnetiſchen Kräften und nicht von magnetiſchen Flüſſigkeiten zu ſprechen und verſtehe unter einem magnetiſchen Elemente jenes Körpertheilchen, welches urſprünglich als der Sitz der magnetiſchen Kräfte betrachtet werden muß und nicht mehr als Aggregat mehrerer ſolcher Theile anzuſehen iſt. Je mehr Elemente die zum Hervortreten der magnetiſchen Kraft nöthige Bewegung angenommen haben, deſto ſtärker wird der Magnetismus des Ganzen.

Wenn man Stahlſpäne in einem Glasrohre feſt zuſammendrückt und ſie dann durch Elektricität auf eine Weiſe, wie ſpäter gelehrt werden wird, magnetiſirt; ſo erſcheint das ganze Aggregat als ein einziger Magnet von nicht unbedeutender Kraft, die aus der Zuſammenſetzung lauter kleiner Stahlmagnete hervorgegangen iſt. Leert man aber die Röhre aus und mengt die Stahlſpäne beliebig unter einander, ſo erhält man ein Aggregat, an welchem keine magnetiſche Kraft bemerklich iſt und doch kann man nicht annehmen, daß die Späne ihren Magnetismus durch das Ausleeren verloren haben. Der wahre Grund des Verſchwindens jeder magnetiſchen Wirkung nach außen liegt offenbar darin, daß in der Röhre alle Späne ihre gleichnamigen Pole nach einerlei Gegend hin, z. B. der Axe des Glasrohres parallel gerichtet haben, und ſich gegenſeitig unterſtützen, während in dem Aggregate außerhalb der Röhre jeder Pol durch einen Gegenpol aufgehoben wird. Die Feilſpäne in der Röhre geben das Bild eines magnetiſchen, die außerhalb derſelben das eines unmagnetiſchen Körpers.

Zweites Kapitel.

Erzeugung künſtlicher Magnete.

10. Obgleich ein des Magnetismus fähiger Körper ſchon durch ſeine Lage gegen die Erde oder gegen einen Magnet, dann, wie ſpäter gelehrt wird, durch Electricität und wahrſcheinlich auch durch Einwirkung des Sonnenlichtes in den magnetiſchen Zuſtand dauernd oder vorübergehend, wie es ſeine Coercitivkraft zuläßt, verſetzt werden kann; ſo iſt doch das Streichen gerader oder krummer Stäbe aus gutem Stahl mit bereits vorhandenen künſtlichen Magneten ein vorzugsweiſe bequemes Mittel, künſtliche Magnete von beliebiger Stärke zu Stande zu bringen. Man unterſcheidet hiebei, je nachdem das Streichen bloß mit einem oder gleichzeitig mit zwei Magnetpolen vollzogen wird, den einfachen und den Doppelſtrich. Eine beſondere Modification des letzteren iſt der Kreisſtrich. Wir werden hier zunächſt dieſe Verfahrungsarten an geraden Stäben erläutern; krumme Stäbe, denen man in der Regel die Form eines Hufeiſens mit parallelen Schenkeln gibt (Fig. 193), laſſen ſich nach Umſtänden, theils als ein Stab, theils als eine Verbindung zweier Stäbe betrachten, und geſtatten ſonach die Anwendung aller die geraden Stäbe betreffenden Operationen. Ein Verfahren, welches Magnetismus hervorruft, vernichtet ihn wieder, wenn es im entgegengeſetzten Sinne angewendet wird. Man nennt dieſes das Entmagnetiſiren.

11. Der einfache Strich beſteht darin, daß man einen Pol eines Magnetes auf das eine Ende eines geraden Stahlſtabes ſetzt, und ihn in einem Zuge gegen das andere Ende hin und da entweder ſeitwärts abzieht oder über das Ende hinaus führt, ein Verfahren, das man mehrere Male wiederholen kann, indem man jedesmal den abgezogenen Pol in der Luft an ſeine urſprüngliche Stelle zurückbringt. Iſt AB (Fig. 194) der zu magnetiſirende Stab, und führt man den Nordpol eines Magnetes von A gegen B hin, ſo zeigt ſich bei A ein Nord- und bei B ein Südpol. Dieſelbe Aenderung der Pole bekommt man, wenn man bei B den Südpol des Streichmagnetes aufſetzt, und ihn gegen A führt. Wollte man den in Berührung mit dem Stabe AB von A nach B bewegten Nordpol wieder auf dem Stabe von B nach A zurückführen, ſo würde der durch den vorhergehenden Strich hervorgerufene Magnetismus wieder ganz oder zum Theile aufgehoben oder durch einen ſchwachen entgegengeſetzten erſetzt werden, alſo jedenfalls nur ein unzureichendes Reſultat zum Vorſchein kommen. Die Beſchaffenheit der Pole nach verrichtetem Streichen erkennt man mit Hülfe einer leicht beweglichen Magnetnadel, die hier die Probenadel heißt. Man kann jedoch den einfachen Strich auch ſo verrichten, daß man einen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu magnetiſirenden Stabes aufſetzt, ihn gegen ein Ende deſſelben hin-

führt und daſelbſt abzieht. Dieſes Verfahren wiederholt man öfters, ohne aber je die Stange vom Ende gegen die Mitte zu ſtreichen. Hierauf ſetzt man den anderen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu erzeugenden Magnetes, und ſtreicht mit demſelben gegen das andere Ende hin, ohne je einmal umgekehrt zu ſtreichen. Da erhält nun jede Hälfte eine Polarität, welche der des aufgeſetzten Poles engegengeſetzt iſt. Der einfache Strich iſt nicht geeignet einem nur etwas ſtarken Stabe ſo viel Magnetismus zu ertheilen, als dieſer aufzunehmen vermag; und nicht ſelten entſtehen bei ungleichförmiger Beſchaffenheit des Stabes oder bei ungleichförmigem Streichen Zwiſchenpole oder Folgepuncte.

Der einfache Strich kann mit Vortheil in Anwendung kommen, wenn man ein Stahlblech nur an beſtimmten Stellen magnetiſiren will. Nimmt man einen Magnet, der an einem Ende abgerundet iſt, und zeichnet mit demſelben auf einem rein geſcheuerten Stahlbleche Figuren; ſo nimmt dieſes an den geſtrichenen Stellen Magnetismus an, und man kann die Figuren ſogar durch aufgeſtreute Eiſenfeile ſichtbar machen, und ſie bleiben es oft Monate lang. (Haldat in Zeitſchrift 7. 367.)

12. Es iſt nach der oben (9) entwickelten Anſicht nicht ſchwierig, ſich eine theoretiſche Vorſtellung von dem Hergange bei dem ſo eben erklärten Magnetiſirungsverfahren zu bilden. Wird ein Magnetpol irgendwo auf einen unmagnetiſchen Stahlſtab aufgeſetzt, ſo trennt er die magnetiſchen Kräfte in dem benachbarten Theilchen auf ſolche Weiſe, daß die zwei, entgegengeſetzten Kräften angehörigen Theilchen in einer Ordnung auf einander folgen, welche jener im Streichmagnete entgegengeſetzt iſt, weil jeder Angriffspunct im Streichmagnete einen ſolchen für die entgegengeſetzte Kraft im zu magnetiſirenden Stabe erzeugt. Daher geſtaltet ſich die Sache ſo, als ob ſich unter dem aufgeſetzten Pole ein ungleichnamiger Pol des Stabes befände, zu beiden Seiten von ihr aus aber gleichnamige Pole vorhanden wären, wie man dieſes mit einer Probenadel erfahren kann, nachdem der aufgeſetzte Pol entfernt iſt, vorausgeſetzt, daß er Kraft genug habe. Die zuletzt beſtehende Anordnung bleibt in Folge der Coercitivkraft des Stahles, und der Erfolg iſt kräftiger, als wenn der Pol des Streichmagnetes bloß an einem Ende aufgeſetzt worden wäre, weil die Trennung der magnetiſchen Kräfte in einem Stoffe von bedeutender Coercitivkraft um ſo ſchwächer ausfallen muß, je weiter die Theilchen von der trennenden Urſache entfernt ſtehen; kommt aber, wie es bei dem Streichen geſchieht, der Magnetpol ihnen möglichſt nahe, ſo erreicht die Scheidung der Kräfte in jedem Elemente den höchſten Grad, der unter den obwaltenden Umſtänden möglich iſt.

13. Das Weſentliche des Doppelſtriches beſteht darin, daß man auf die Mitte des zu magnetiſirenden Stabes die entgegengeſetzten Pole zweier Magnete ſenkrecht, oder wie es vortheilhafter zu ſeyn ſcheint, geneigt aufſtellt, und ſie nach derſelben Richtung mit ſtarker Reibung längs jenes Stabes wiederholt, hin (und zurück) führt, zu-

letzt aber an den Enden abhebt. Hier erhält jedes Ende des Stabes den Magnetismus, welcher jenem des ihm zuletzt beim Streichen zugeführten Poles des Streichmagnetes entgegengeſetzt iſt. Man kann auch die aufgeſetzten Pole der zwei Magnete in entgegengeſetzten Richtungen auf dem zu magnetiſirenden Stabe hin- und zurückführen und ſie zuletzt in der Mitte abheben. Da erhält der Stab Pole, welche mit denen des davon ſich entfernenden übereinſtimmen. In beiden Fällen iſt es vortheilhaft, Eiſenmaſſen an die Enden des zu magnetiſirenden Stabes zu legen, oder wohl gar ſtarke Magnetpole, die denen, welche daſelbſt entſtehen ſollen, entgegengeſetzt ſind. Hoffer hat gelehrt, hiezu die allmälig wachſende Kraft der eigenen Pole der zu ſtreichenden Stäbe zu benützen, indem man ſelbe durch Anker von weichem Eiſen unter einander in Verbindung ſetzt. Um nach dieſer Methode einen hufeiſenförmigen Stab A (Fig. 195) zu magnetiſiren, legt man ihn auf einen Tiſch, bringt an die beiden Endflächen deſſelben den Anker B, und ſetzt den ebenfalls hufeiſenförmigen Streichmagnet C mit jedem Pole auf einen Schenkel des Hufeiſens, und zwar ſo nahe als möglich am Anker und in aufrechter Stellung. In dieſer führt man ihn in gleichmäßigem Zuge und mit unverändertem Drucke parallel zu den Schenkeln des Hufeiſens, bis über die Wölbung deſſelben hinaus, und wieder, ohne das Hufeiſen zu berühren, zurück. Nach mehreren Strichen dieſer Art hat der Stab ſchon das Maximum der Kraft, der er fähig iſt, angenommen, und zwar hat jeder Schenkel die mit dem aufgeſetzten Pole des Streichmagnetes gleichnamige Polarität. Man kann auch umgekehrt verfahren, den Streichmagnet mit beiden Polen auf die Schenkel des Hufeiſens an der Wölbung aufſetzen (Fig. 197), gegen die Endflächen deſſelben hinſtreichen, und den Streichmagnet über denſelben hinausführen, wobei es gerade nicht weſentlich iſt, daß der Anker vorgeſetzt werde. Da erhält jeder Schenkel des Hufeiſens die dem aufgeſetzten Pole entgegengeſetzte Polarität, und man kann daher mittelſt dieſer Methode den, mittelſt der vorhergehenden erzeugten Magnetismus aufheben oder die Pole umkehren. Hat man zwei gerade Stäbe nach Hoffer's Methode zu magnetiſiren, ſo verfährt man ſo: Man legt ſie in paralleler Lage auf einen Tiſch, verbindet ihre Endflächen mit zwei Ankern, und ſetzt einen Hufeiſenmagnet mit ſeinen Polen in aufrechter Stellung in der Nähe eines Ankers auf die zwei Stäbe (Fig 196). Hierauf führt man den Streichmagnet in gleichmäßigem Zuge gegen das andere Ende hin und ſogar über daſſelbe hinaus, führt ihn aber, ohne die Stäbe zu berühren, wieder auf die erſte Stelle zurück, und wiederholt dieſes Verfahren einige Male. Die Stellen, wo die Pole aufgeſetzt wurden, erhalten eine dem betreffenden Pole gleichnamige Polarität. Man kann auch zwei Hufeiſenmagnete auf einmal auf ſolche Stangen und zwar entweder beide in der Mitte der Stangen aufſetzen, oder jeden in die Nähe eines Ankers, aber immer ſo, daß derſelbe den Stab zugleich von zwei ungleichartigen Polen berührt wird. Im erſteren Falle zieht man die Magnete in entgegengeſetzter

Richtung gegen die Anker hin und über ſie hinaus, im letzteren gegen die Mitte hin und dann quer über die Stange weg. Hat man mehrere Paare gleicher Stäbe zu magnetiſiren, ſo kann man deren mehrere der Länge nach an einander legen, ſo daß ſie zwei verlängerte Stangen formiren, die ſich durch Anker verbinden und ſo magnetiſiren laſſen, als hätte man es nur mit zwei Stangen zu thun. (Hoffer in Zeit. n. F. 2. 197; 3. 193.)

Der Doppelſtrich iſt zuerſt im Jahre 1745 von Knight angewendet worden, und zwar ſo, daß man die zu magnetiſirende Stange horizontal auf einen Tiſch legt, darauf nach der Länge zwei Streichmagnete ſetzt, deren entgegengeſetzte Pole einander faſt in der Mitte des Stabes berühren, und dieſe Pole von einander entfernt, indem man ſie in entgegengeſetzter Richtung längs der Unterlage aus einander zieht Kurze, nicht gar dicke Stäbe laſſen ſich auf ſolche Weiſe vollkommen magnetiſiren, langen Stäben iſt aber dieſes Verfahren nicht gewachſen. Duhamel verbeſſerte es dadurch, daß er die zu magnetiſirende Stange zwiſchen zwei Stäben aus weichem Eiſen anbrachte, und die Streichmagnete unter einem Winkel von 25—30° auf ſie ſtellte, übrigens aber ſie wie Knight hin und her führte. Mitchell nahm zum Streichen nicht einzelne Magnetſtäbe, ſondern aus mehreren Stäben beſtehende Bündel, ſtellte zwei ſolche mit ihren entgegengeſetzten Polen in einiger Entfernung von einander ſenkrecht auf den zu magnetiſirenden Stab, und führte ſie ſo gegen das eine und dann gegen das andere Ende jenes Stabes hin. Aepinus brachte an die Enden dieſes Stabes die entgegengeſetzten Pole zweier ſtarken Magnete, wendete aber wie Mitchell Magnetbündel zum Streichen, jedoch nicht in ſenkrechter, ſondern in geneigter Lage an. Außer den vorgenannten iſt noch Mohr's Verfahren zu erwähnen. Dieſes bezieht ſich unmittelbar nur auf hufeiſenförmige Stäbe, kann aber leicht auf gerade angewendet werden. Es unterſcheidet ſich von jenem Hoffer's, wo der Streichmagnet von der Wölbung des Hufeiſens gegen deſſen Enden hin geführt wird, nur dadurch, daß man, bevor der Streichmagnet vom Hufeiſen abgezogen wird, erſt dem Hufeiſen einen zweiten Anker auflegt, und dann den Magnet mit dem früher vorgeſetzten Anker abzieht, ſo daß ſtets beide Hufeiſen geſchloſſen bleiben. (Mohr in Pogg. Ann. 36. 542.) Nach Moſer's vergleichenden Verſuchen ſteht für zu magnetiſirende Stäbe Mohr's Verfahren dem von Hoffer nach, beide ſollen aber von dem Mitchell'ſchen Doppelſtriche übertroffen werden. (Dove's Repertorium der Phyſik 2. 141.)

14. Merkwürdig iſt die Veränderung, welche der Magnetismus eines geraden oder hufeiſenförmigen Stahlſtabes während des Streichens erleidet: Setzt man auf ein Hufeiſen, dem der Anker vorgelegt iſt, einen Streichmagnet, wie Fig. 195 zeigt, ſo haftet der Anker augenblicklich feſt, und jedes Ende hat die Polarität des darauf geſetzten Poles. Führt man den Streichmagnet gegen die Wölbung hin, ſo nimmt der Magnetismus jedes Schenkels ab, ohne jedoch ſeine Polarität zu ändern, und erlangt ein Minimum, wenn der Streichmagnet in einer gewiſſen Entfernung von den Endflächen ſteht. Hat das Hufeiſen durch wiederholtes Streichen gegen die Wölbung hin das Maximum ſeiner Kraft erreicht, ſo findet man ſtets in der Nähe der Wölbung an jedem Schenkel einen Folgepunct. Anders iſt es, wenn

der Streichmagnet an der Wölbung aufgeſetzt, und das Streichen von da gegen die Enden vollführt wird (Fig. 197). Da hält, wenn der Streichmagnet aufgeſetzt iſt, der Anker noch gar nicht feſt, und man bemerkt erſt ein Feſthalten deſſelben, wenn man mit dem Streichen gegen die Ankerflächen zu auf eine gewiſſe Stelle gekommen iſt, und dieſes Feſthalten nimmt zu, ſo wie man den Streichmagnet von da den Enden zuführt. Zieht man den Magnet in der Nähe der Endflächen weg, ſo nimmt die magnetiſche Kraft des Hufeiſens während des Wegziehens raſch ab, und iſt, wenn der Streichmagnet das Hufeiſen nur mehr an wenigen Puncten berührt, ganz verſchwunden, ſo daß der Anker von ſelbſt wegfällt, kehrt aber mit neuer Stärke augenblicklich zurück, ſobald der Streichmagnet ganz weggezogen iſt. Dieſes Spiel der Kräfte iſt das Reſultat der gemeinſchaftlichen Wirkung des Streichmagnets, des magnetiſchen Hufeiſens und des Ankers. (Hoffer in Zeitſchr. n. F. 2. 360.)

15. Bei dem Kreisſtriche werden vier Stahlſtäbe, oder zwei Stahlſtäbe und zwei Eiſenſtäbe abwechſelnd ſo gelegt, daß ſie ein Quadrat bilden, oder auch zwei Hufeiſen zu einem Oval an einander geſchoben, und auf dieſem zwei ungleichnamige Magnetpole, allenfalls die eines Hufeiſens, mehrmal rings herum geführt. Es läßt ſich dieſes Verfahren ſogar auf ein einzelnes Hufeiſen mit vorgelegtem Anker anwenden. Man zieht die Streichpole an einer Verbindungsſtelle zweier Stäbe von beiden ab.

Wenn man mehrere Magnetſtäbe durch einen Ring in der Richtung ſeiner Halbmeſſer ſteckt, ſo daß die ungleichnamigen Pole einander gerade gegenüberſtehen und einen kleinen Raum zwiſchen ſich übrig laſſen; ſo kann man durch dieſen einen Eiſenſtab oder einen Draht durchziehen und ihn dadurch magnetiſiren. Auf dieſe Weiſe erhält derſelbe nach ſeiner Länge ſo viele Pole, als man Magnetſtangen angewendet hat, und jeder derſelben erſcheint als eine mit der Axe parallele Linie. Ein ſolcher Magnet iſt dann ein Transverſalmagnet.

16. Die Stärke eines ſo erzeugten Magnetes hängt bei ſonſt gleichen Umſtänden von der Kraft der Streichmagnete und von der materiellen Beſchaffenheit, Homogeneität, Geſtalt und Größe der zu magnetiſirenden Stange ab. An und für ſich kann man mit einem ſchwachen Streichmagnete wieder nur ſchwache magnetiſche Kräfte wecken, allein durch Verbindung ſchwacher Magnete, die man mit ihren gleichnamigen Polen an einander legt, gewinnt man einen ſtärkeren Streichmagnet, mit dem ſich die vorhandenen Magnete verſtärken laſſen, und kann hierin beliebig weit gehen. Gerade Stäbe verbindet man mit ihren gleichnamigen Polen zu einem einzigen Bündel, und gibt ihnen durch Anlegen von Platten aus weichem Eiſen mit vorſtehenden Füßen eine ſogenannte Armatur (Fig. 198). Verbindet man mehrere hufeiſenförmig gebogene Stäbe, ſo pflegt man eine ungerade Anzahl zu nehmen, und dem mittleren die größte Länge und Dicke zu geben, die Länge und Dicke der äußeren aber ſtufenweiſe abnehmen zu laſſen (Fig. 199). Eine kräftige Verbindung mehrerer

einzelnen Magnete nennt man eine **magnetiſche Batterie**, auch wohl ein **magnetiſches Magazin.**

Knight's berühmtes magnetiſches Magazin, jetzt ein Eigenthum der königl. Societät zu London, beſteht aus 450 Stäben, deren jeder 15 Zoll (engl.) lang, 1 Z. breit und $^1/_2$ Z. dick iſt. Es wiegt etwa 10 Centner und hat eine Tragkraft im Minimum von 100 Pfund.

17. Die Stäbe, welche zu Magneten beſtimmt ſind, ſollen aus feinkörnigem, gleichartigen und durchaus gleichmäßig harten Stahle beſtehen, und an der Oberfläche glatt gefeilt oder gar geſchliffen ſeyn. Zu große Härte iſt der Empfänglichkeit für den Magnetismus, zu geringe Härte der Dauer desſelben nachtheilig. Eiſenadern, Unterbrechungen der Continuität und der Gleichartigkeit benehmen dem Stahle die Empfänglichkeit für ſtarken Magnetismus. Gut iſt es, wenn die Breite eines Stabes ein Mehrfaches ſeiner Dicke und letztere überhaupt nicht bedeutend, jedoch auch nicht unter $^1/_4$ Zoll iſt. Bei Hufeiſen ſollen die Schenkel möglich parallel und enge an einander gebogen ſeyn. Der Anker ſoll aus weichem Eiſen beſtehen, der Größe des Magnetes angemeſſen ſeyn, und ſich gut, wenn auch nur in einer Linie, an die Polflächen anſchließen. Man hat ſogar empfohlen, ihn an die Magnetenden anzuſchleifen. Gerade Stangen tragen ſelten mehr als ihr eigenes Gewicht, Hufeiſen oft das zehnfache desſelben.

Magnete von einigen Granen tragen oft mehr als das 50fache ihres eigenen Gewichtes, Magnete von 1—2 Pfund kaum das Zehnfache desſelben. Cavallo ſah einen Magnet, der 7 Gr. wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet, der 3 Gr. wog, trug armirt 1032 Gran, ein anderer von 1 Gr. Gewicht trug armirt 764 Gr. Der größte der bekannten armirten Magnete befindet ſich im Taylor'ſchen Muſeum; er wiegt ſammt der Armatur 307 Pfd. und trägt 230 Pfd. Mohr verſah einen Magnet mit einem Anker, der einerſeits flach, andererſeits halbcylindriſch gewölbt war. Mit der flachen Seitenwand anliegend trug er 20 Pfd., mit der gewölbten $31^1/_4$ Pfd. Nobili fand, daß zwei vollkommen gleiche Stahlſtäbe, deren einer maſſiv, der andere der Länge nach durchbohrt, alſo hohl war und weniger Maſſe hatte als der erſtere, ungleiche Kräfte durch Streichen annahmen. Im Zuſtande der Sättigung verhielt ſich die Tragkraft des maſſiven Stabes zu jener des hohlen, wie 95 : 190. Es beſteht zwiſchen der Tragkraft eines Hufeiſens, das mit vorgelegtem Anker magnetiſirt wurde, ein großer Unterſchied, ehe der Anker abgeriſſen wird, und nach der Trennung desſelben vom Magnete. Im letzteren Falle ſinkt die Tragkraft bedeutend, erhält ſich aber dann auf einerlei Stufe. Um einen Magnet zu erhalten, deſſen Anker ſehr ſtark haftet, muß man mehrere Hufeiſen, jedes mit ſeinem noch nicht weggenommenen Anker an einander legen, und ſodann die Anker, bis auf den in der Mitte, wegnehmen. Nach Entfernung des letzteren ſinkt die Tragkraft des zuſammengeſetzten Magnets auf eine conſtante Größe herab. Vereinigt man mehrere Hufeiſenlamellen, die auf ihre conſtante Kraft, welche ſie durch Abnehmen des Ankers nicht weiter verlieren, gebracht worden ſind, z. B. drei Lamellen, und man nimmt ſelbe, nach Abreißen des Ankers von der mittleren, aus einander, ſo zeigt ſich die Kraft der Mittellamelle ausnehmend geſchwächt.

18. Eine beſonders wichtige Anwendung findet die Erzeugung künſtlicher Stahlmagnete bei der Conſtruction der Magnetnadeln. Dieſes unvergleichliche Werkzeug zeigt nicht bloß dem Schiffer zur See die Himmelsgegenden, iſt bei einem bewölkten Himmel ſein vorzüglichſter Führer, dient dem Geometer bei Meſſungen unter der Erde oder durch Wälder zum Winkelmeſſer und Führer, und leiſtet überhaupt die beſten Dienſte, wenn Gegenſtände, z. B. Sonnenuhren, Meßtiſche ꝛc. nach beſtimmten Richtungen geſtellt werden ſollen, ſondern es iſt, in Folge neuerer Fortſchritte der Naturlehre, auch dem Phyſiker bei dem Studium der Phänomene der Elektricität und der Wärme ein unentbehrliches Hilfsmittel geworden. Man gibt einer Magnetnadel häufig die Geſtalt eines vierkantigen Prisma's oder eines ſchmalen und verhältnißmäßig langen Rhombus. Sie wird aus Uhrfederſtahl bereitet, bei der Rothglühhitze gehärtet und dann temperirt, indem man ſie von der Mitte aus bis zu einem Zolle von jedem Ende anlaufen läßt, bis die blaue Farbe wieder verſchwindet. Die Politur hat auf die magnetiſche Capacität einer ſolchen Nadel keinen Einfluß. Ihre Richtkraft wächſt im Verhältniß ihrer Länge und Maſſe. Meiſtens unterſcheidet man ihre Pole durch die Farbe, oft auch durch ihre Geſtalt. Man kann Magnetnadeln auch aus Nickel, ja nach Lampadius ſogar aus einer Legirung von Platin oder Gold und Nickel machen, welche vor den ſtählernen den Vorzug haben, daß ſie nicht ſo leicht roſten. In manchem Falle iſt eine Magnetnadel von Nutzen, welche ſich nur in der Ebene des magnetiſchen Aequators bewegen kann und darum aſtatiſch heißt. Sie wird vom Erdmagnetismus nicht afficirt, und bleibt in jener Ebene in jeder Richtung ſtehen, wenn ihr Schwerpunct in die Drehungsaxe fällt. Ampère hat eine ſolche Nadel angegeben, Fig. 200 ſtellt ſie vor; Schmidt hat ſie vereinfachet (Gilb. Ann. 70. 243.) Man kann ſich aber auch eine Nadel verſchaffen, die bei jeder Abweichung vom magnetiſchen Meridiane in Ruhe bleibt und deßhalb auch aſtatiſch genannt zu werden verdient, wenn man zwei gleich ſtarke Magnetnadeln mit einander unveränderlich ſo verbindet, daß ihre ungleichnamigen Pole nach derſelben Gegend hin gerichtet ſind, wie Fig. 201 und Fig. 202 zeigen.

Drittes Kapitel.

Geſetze der Wirkungen magnetiſcher Kräfte.

19. Ein Magnet erfährt ſowohl von der Erde, wie auch von einem andern Magnete eine Einwirkung, die ſich nach den Regeln beurtheilen läßt, welche die Statik für die Zuſammenſetzung der Kräfte darbietet. Man betrachtet zu dieſem Behufe den Magnet als einen Inbegriff von magnetiſchen Elementen, an deren jedem man zwei Hälften, oder wenn man lieber will, Puncte, die beiden Pole des Ele-

mentes, unterſcheidet, welche mit entgegengeſetzten Kräften auf jeden anderen mit Magnetismus begabten Punct wirken. Es ſeyen nun ns, $n's'$, $n''s''$ ꝛc. (Fig. 203) Elemente eines Magnets; ferner ſey p die Größe der nördlich magnetiſchen Kraft (des nördlichen Magnetismus) in ns, die wir der Einfachheit wegen in n concentrirt denken. Da die Erde durch ihre magnetiſche Kraft einem Magnete keine fortſchreitende, ſondern nur eine drehende Bewegung ertheilt, ſo muß derſelbe gleich viel nördliche oder ſüdliche magnetiſche Kraft enthalten, und wenn $+p$ die Größe des in n enthaltenen nördlichen Magnetismus iſt, ſo muß $-p$ die des in s enthaltenen ſüdlichen ſeyn; eine gleiche Bedeutung mögen auch p', p'' ꝛc. bezüglich der Elemente $n's'$, $n''s''$ ꝛc. haben. Es ſey P die magnetiſche Kraft der Erde, nach jener Einheit gemeſſen, die der Maſſe $= 1$, welche die magnetiſche Kraft $= 1$ beſitzt, in der Zeit $= 1$ die Geſchwindigkeit $= 1$ ertheilt. Da wirken nun auf die Puncte n, n', n'' ꝛc. die Kräfte Pp, Pp', Pp'' nach gewiſſen, mit einander parallelen Richtungen nx, $n'x'$, $n''x''$ ꝛc. und eben ſo auf s, s', s'' ꝛc. die Kräfte $-Pp$, $-Pp'$, $-Pp''$ ꝛc. nach den, den vorigen zwar parallelen, aber entgegengeſetzten Richtungen sy, $s'y'$, $s''y''$ ꝛc. Man kann von jeder Gruppe der nach einerlei Richtung wirkenden Kräfte die Reſultirende und deren Angriffspunct finden. So erhält man ſtatt der vorgenannten Kräfte zwei ihnen der Wirkung nach gleiche, und der Richtung nach entgegengeſetzte R und $-R$, wobei $R = Pp + Pp' + P'p''\ldots = P(p + p' + p''$ ꝛc.$)$ oder wenn man $p + p' + p''\ldots = \mu$ ſetzt $R = \mu P$ iſt. Sind nun N und S (Fig. 204) die Angriffspuncte, NX, SY die Richtungen der Kräfte R und R, ſo muß der Körper, wenn er zwar gegen den Fall durch die Schwere geſchützt iſt, aber ſich um ſeinen Schwerpunct drehen kann, eine ſolche Lage annehmen, daß die Verbindungslinie der Puncte N und S den Richtungen der magnetiſchen Erdkräfte parallel lauft. Dieſes Gleichgewicht wird dann ſtabil ſeyn, wenn die Puncte N und S ſo ſtehen, daß die Kräfte ſie von einander zu entfernen ſuchen. Die gerade Linie, welche durch die Puncte N und S geht, heißt die *magnetiſche Axe* des Körpers, S und N ſind ſeine *mathematiſchen Pole*.

20. Man denke ſich in der geraden Linie NS einen fixen Punct E (Fig. 205), der entweder zwiſchen N und S fällt, wie in (a) oder in der Verlängerung von NS liegt wie in (b), und laſſe ſenkrecht darauf in N und S die Kräfte R und $-R$ wirken. Da iſt nun das Drehungsmoment der Kraft R in beiden Fällen $R.NE$, das der Kraft $-R$ in beiden Fällen $R.SE$. Aus dem Zuſammenwirken beider Kräfte entſteht für den erſten Fall, wo die Kräfte entgegengeſetzte Drehungen hervorbringen das Moment $R.NE + R.SE = R(NE + ES) = R.NS$, für den zweiten, wo die Kräfte übereinſtimmende Drehungen hervorbringen, das Moment $R.NE - R.SE = R(NE - SE) = R.SN$, mithin in beiden Fällen dieſelbe Größe $R.SN = R.\rho = P\mu\rho$, wenn man NS durch ρ ausdrückt. Dieſes Product heißt das *magnetiſche Moment*, und iſt in jedem Magnete

bloß von der Anordnung der magnetiſchen Kraft in demſelben abhängig. Für P = 1 iſt R.SN = $\mu\rho$ und daraus die eben angeführte Benennung dieſes Productes begreiflich. Es erſcheint als Product eines Gewichtes in einen Hebelarm.

21. Auf die magnetiſche Axe eines Körpers in dem vorher ausgeſprochenen Sinne bezieht ſich die genaue Beſtimmung der bereits früher (6) angedeuteten Begriffe der magnetiſchen Neigung und Abweichung (Inclination und Declination.) Bei einem in ſeinem Schwerpunct unterſtützten, ſonſt aber nach allen Richtungen frei beweglichen Magnete nimmt die magnetiſche Axe eine Lage an, welche die Richtung der magnetiſchen Erdkraft anzeigt. Der Winkel, den ſie in dieſer Lage mit einer horizontalen Ebene macht, iſt die Neigung; der Winkel, den eine verticale Ebene, die mit der in genannter Lage befindlichen magnetiſchen Axe parallel geht (der magnetiſche Meridian), mit dem aſtronomiſchen Meridian macht, iſt die Abweichung. Darnach erhält auch der Begriff des magnetiſchen Aequators ſeine präciſe Bedeutung. Wird ein Magnet nicht in ſeinem Schwerpuncte, ſondern in einem andern Puncte aufgehängt, oder kann er ſich bloß um eine verticale von der magnetiſchen verſchiedene Axe drehen, ſo zeigt er bloß die Declination an.

Bei dünnen Stäben, die durch Längenſtriche vorſichtig magnetiſirt worden ſind, liegt die magnetiſche Axe der Längenrichtung des Stabes parallel; bei cylindriſchen oder prismatiſchen Stäben von nicht ſehr geringem Querſchnitte hingegen darf man ſich nicht darauf verlaſſen, daß dieß ſicher der Fall ſey. In der That ändern ſolche Stäbe meiſtens ihre Ruhelage, in der ſie horizontal aufgehängt ſchweben, wenn man ſelbe ſo umlegt, daß die Fläche, welche früher oben war, abwärts kommt, was eine Folge der Neigung der magnetiſchen Axe gegen die Seitenflächen des Stabes iſt.

22. Wenn die magnetiſche Axe mit der verticalen Drehungsaxe des Magnetes einen rechten Winkel bildet, folglich die magnetiſche Axe in einer horizontalen Richtung zu bleiben genöthiget iſt, erhält der Magnet ſeine Richtung lediglich durch die horizontale Componente der magnetiſchen Erdkraft. Das Parallelogramm der Kräfte lehrt, daß, wenn wie oben P die Größe der magnetiſchen Erdkraft, T die Größe ihrer horizontalen Componente und i die Inclination bedeutet, die Gleichung $T = P \cos i$ beſtehe. Denkt man ſich einen ſo vorgerichteten Magnet, den man, in ſo fern er die Form eines wenn auch maſſiven Stabes hat, vorzugsweiſe eine Declinationsnadel zu nennen pflegt, ein wenig aus ſeiner Ruhelage gebracht, ſo wird er unter dem Einfluſſe der Kraft T nach denſelben Geſetzen, wie ein Pendel, Schwingungen machen. Die Formel für die Dauer einer Schwingung des einfachen Pendels, das in einem unendlich kleinen Bogen oscillirt, iſt $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ wenn l die Länge und g die Acceleration der Schwerkraft anzeigt. Bedeutet für ein zuſammengeſetztes Pendel K das Moment der Trägheit in Bezug auf die

Drehungsaxe, M das ſtatiſche Moment, ſo hat man I. 350. $l = \frac{K}{M}$, mithin iſt $t = \pi\sqrt{\frac{K}{gM}}$. Es iſt leicht zu zeigen, daß, um dieſe Formel auf die Schwingungsdauer einer Declinationsnadel anzuwenden, bloß g mit gT zu vertauſchen und unter K das Trägheitsmoment der Nadel, unter M ihr magnetiſches Moment zu verſtehen ſey. Sonach hat man für die in ſehr kleinen Winkeln vor ſich gehenden Schwingungen einer Declinationsnadel $t = \pi\sqrt{\frac{K}{gTM}}$.

23. Um die Einwirkung eines Magnetes auf einen andern beurtheilen zu können, muß das Geſetz bekannt ſeyn, nach welchem die magnetiſchen Theilchen ſelbſt einander anziehen oder abſtoßen. Genaue Verſuche haben gelehrt, daß die Kraft, welche zwei Theilchen auf einander ausüben, dem Quadrate ihres Abſtandes verkehrt proportionirt anzunehmen ſey. Ueberdieß iſt es klar, daß dieſe Kraft ſich wie das Product der auf einander wirkenden Kräfte verhalte. Die Abhängigkeit der gegenſeitigen Action der magnetiſchen Kräfte von der Diſtanz der einander anziehenden oder abſtoßenden Theilchen läßt ſich ſchon aus der Kraft entnehmen, womit ein Pol eines Magnetſtabes den Pol eines andern Magnetſtabes afficirt. Durch Verſuche dieſer Art wurde ſchon im Jahre 1781 Della Bella auf das ſo eben ausgeſprochene Geſetz geführt; Coulomb hat dasſelbe, ohne jene Arbeit zu kennen, ſowohl durch Schwingungsverſuche, wie auch mittelſt eines beſonderen Apparates, der Drehwage erkannt. Am genaueſten wird aber dieſes Geſetz durch die Uebereinſtimmung der aus demſelben fließenden Folgerungen mit den Reſultaten feiner Verſuche bewieſen.

24. Um das erwähnte Geſetz durch Schwingungsverſuche zu rechtfertigen, laſſe man einen um eine fixe Axe beweglichen Magnetſtab zuerſt unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus, dann unter dem damit gleichzeitig thätigen Einfluſſe eines fixen Magnetpoles, den man in verſchiedenen Diſtanzen aufſtellt, ſchwingen. Es ſey die Anzahl Schwingungen, welche der Magnetſtab binnen einer feſtgeſetzten Zeit Z unter dem alleinigen Einfluſſe der magnetiſchen Kraft vollbringt $= N$, und die Anzahl der Schwingungen, die er unter dem Einfluß des Erdmagnetismus und des Magnetpoles in derſelben Zeit vollbringt $= N'$; ſo erhält man, wenn T die Kraft der Erde, $T + T'$ jene der Erde und des Magnetpoles in Verbindung vorſtellt, mit Beibehaltung der obigen Bedeutungen von M und K und mit Rückſicht darauf, daß $\frac{Z}{N}$, $\frac{Z}{N'}$, die Dauer einer Schwingung in beiden Fällen angibt, $\frac{Z^2}{N^2} = \frac{\pi^2 K}{gTM}$, $\frac{Z^2}{N'^2} = \frac{\pi^2 K}{g(T+T_1)M}$; und ſomit $TM = \frac{\pi^2 K N^2}{g Z^2}$, $(T + T')M = \frac{\pi^2 K N'^2}{g Z'^2}$

mithin $T : T + T' = N^2 : N'^2$. Beziehen ſich N'' und T'' auf eine andere Stellung des fixen Magnetpoles gegen den des oscillirenden Pendels; ſo hat man eben ſo $T : T + T'' = N^2 : N''^2$ und daher aus beiden Proportionen:

$$T : T' = N^2 : N'^2 - N^2;\ T : T'' = N^2 : N''^2 - N^2$$

und endlich $T' : T'' = N'^2 - N^2 : N''^2 - N^2$.

Bei einem Oscillationsverſuche hat Coulomb gefunden, daß eine Magnetnadel, die unter dem bloßen Einfluſſe des Erdmagnetismus in einer Minute 15 Schwingungen machte, deren in derſelben Zeit 24 vollbrachte, als er ihr den ungleichnamigen Pol eines Magnets in der Ebene des magnetiſchen Meridians auf 8 Zoll Entfernung gegenüber hielt, und endlich 41, als dieſe Entfernung nur 4 Zoll betrug. Hier verhalten ſich die Entfernungen wie 2 : 1, und die anziehenden Kräfte des Magnets wie $24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 = 351 : 1456$, d. i. nahe wie 1 : 4.

25. Die magnetiſche Drehwage (Fig. 206) beſteht aus einem prismatiſchen oder cylindriſchen horizontal ſchwebenden Magnete A (Magnetnadel), der mittelſt eines ſehr feinen elaſtiſchen Drahtes B in einem Glaskaſten aufgehängt iſt. Dieſer Kaſten hat in der Höhe, in welcher ſich die Axe des Magnetes befindet, entweder eine Kreistheilung oder eine dieſelbe vertretende Chordenſcale C, an der man die Größe der Ablenkung des Magnetes meſſen kann. Der Draht iſt unten durch ein Gewicht D in Spannung erhalten und oben am Deckel eines cylindriſchen röhrenförmigen Aufſatzes E ſo befeſtigt, daß man ihn heben und ſenken, aber auch winden und zugleich den Torſionswinkel an einer beſonderen Kreistheilung abnehmen kann. Soll dieſes Inſtrument als Magnetometer dienen, ſo läßt man die Magnetnadel im magnetiſchen Meridiane in Ruhe kommen, ohne daß der Draht eine Torſion erleidet, bringt dann zur Seite derſelben den zu unterſuchenden Magnet z. B. in verticaler Stellung ſo an, daß er auf die Nadel abſtoßend wirkt. Hierdurch erfolgt eine Ablenkung des Magnetes der Wage. Dieſe bringt man durch Winden des Metalldrahtes auf eine beſtimmte Größe, z. B. auf 4°, nähert oder entfernt dann den ſchwebenden Magnet, jedoch ſo, daß er immer mit demſelben Querſchnitte auf den Magnet der Wage wirke, und bringt durch Auf- oder Zudrehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel wieder auf die vorige Größe. Denſelben Verſuch nimmt man für jede zu prüfenden Entfernung des verticalen Magnetes vor. Um nun aus dieſen Daten Reſultate ableiten zu können, muß man überlegen, welche Kräfte bei jedem Theile dieſes Verſuches auf die Magnetnadel wirken. Die Magnetnadel wird durch den Erdmagnetismus im magnetiſchen Meridiane erhalten. Wird ihr ein Magnet nahe gebracht, der ſie abſtößt, ſo tritt ſie aus dem Meridiane und wird in dieſer neuen Lage von drei Kräften afficirt, nämlich von dem Erdmagnetismus, von der Kraft des feindlichen Magnetpoles und von der Elaſticität des Drahtes. Vermindert man durch Drehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel, ſo ändert man dadurch jede der drei Kräfte, und es

hält nun das Beſtreben des Magnetes, vermöge des Erdmagnetismus in den magnetiſchen Meridian zurück zu kehren, vermehrt um das Beſtreben des Drahtes ſich aufzuwickeln, den abſtoßenden Kräften der Magnete das Gleichgewicht. Da müſſen nun vorerſt die erſteren zwei Kräfte homogen gemacht werden, damit man ihre Reſultirende finden könne. Dieſes geſchieht, indem man zu erfahren ſucht, um wie viele Grade der Draht im freien Zuſtande gedreht werden müſſe, damit ſein Beſtreben ſich aufzudrehen, dem Beſtreben des ſchwebenden Magnetes, aus einem beſtimmten Abſtoßungswinkel (in unſerem Falle 4°) in den magnetiſchen Meridian vermöge des Erdmagnetismus zurück zu kehren, das Gleichgewicht halte. Dieſes geſchieht leicht, indem man, wenn die Magnetnadel ſich ſelbſt überlaſſen iſt und daher im magnetiſchen Meridiane ſteht, den Draht ſo ſtark dreht, bis die beabſichtigte Ablenkung vom Meridiane erfolgt. Kennt man dieſe Größe, ſo iſt es leicht einzuſehen, daß der gefundene Torſionswinkel, vermehrt um den Abſtoßungswinkel und um die überdieß dem Drahte ertheilte Torſion, der abſtoßenden Kraft der Magnete proportionirt ſey.

Bei einem Verſuche Coulomb's, als er an die Seite des horizontal ſchwebenden Magnets der Drehwage einen verticalen Magnet geſtellt hatte, betrug der Abſtoßungswinkel 24°, wenn der Draht gar keine Windung hatte, hingegen 17°, wenn er eine Windung von $3 \times 360 = 1080°$ hatte. Der Magnet der Drehwage konnte, vorläufigen Verſuchen gemäß, durch eine Windung von 35° um 1° abgelenkt werden, mithin durch eine Torſion von $24 \times 35° = 840°$ um 24°, und durch eine Torſion von $17 \times 35° = 595°$ um 17°. Es verhielt ſich alſo dieſe ablenkende Kraft beim Abſtoßungswinkel 24° zu der beim Abſtoßungswinkel 17° wie $24 + 840 : 17 + 1080 + 595 = 864 : 1692$ oder nahe wie 1 : 2, während ſich die Quadrate der Abſtände wie $24^2 : 17^2 = 576 : 289$, oder faſt wie 2 : 1 verhielten. Etwas Aehnliches findet man für die magnetiſche Anziehung.

26. Alle bisher beſprochenen Unterſuchungen konnten vorgenommen werden, ohne die Art der Vertheilung der Magnetismen im Innern eines magnetiſchen Körpers zu kennen. Das ſo verborgene Geſetz der magnetiſchen Anziehung und Abſtoßung führt zu der Folgerung, daß der Vertheilung der magnetiſchen Kräfte im Innern eines Magnetes, dieſelbe mag wie immer beſchaffen ſeyn, eine andere auf der Oberfläche des Magnetes Statt findende ſubſtituirt werden könne, welche erſterer in der Wirkung nach Außen vollkommen gleich iſt und zwar iſt Letzteres für jede individuelle Anordnung des inneren Magnetismus nur auf eine einzige Art möglich. Dagegen laſſen ſich unendlich viele verſchiedene Vertheilungsarten der Magnetismen im Innern eines Magnets denken, aus welchen dieſelbe Wirkung nach Außen hervorgeht. Hieraus erhellet hinlänglich, daß alle Bemühungen, über die Art der Vertheilung der magnetiſchen Zuſtände im Innern eines Körpers aus ſeinem Verhalten nach Außen etwas Beſtimmtes zu erſchließen, vergeblich ſind. Wozu wir durch Beobachtung der Action eines Magnets auf Theilchen außer ihm mit Beſtimmtheit gelangen können, iſt immer nur die äquivalente Vertheilung der Magnetismen

auf ſeiner Oberfläche. Indeſſen hindert dieß nicht, ſich aus andern Gründen, z. B. nach der Art des Vorganges bei dem Magnetiſiren eines Stabes, eine Vorſtellung von der Lagerung der magnetiſchen Kräfte in ſeinen Elementen zu bilden.

27. Beobachtungen an regelmäßig geſtrichenen Magnetſtäben lehren, daß ſie auf magnetiſche Theilchen in ihrer Umgebung dergeſtalt wirken, als ob alle magnetiſchen Kräfte nördlicher Art auf der einen, alle ſüdlichen auf der andern Hälfte des Stabes nach ſeiner Länge betrachtet, gelagert, und zwar der größte Theil dieſer Kräfte an den Enden des Stabes zuſammengedrängt wäre. Man kann ſonach mit großer Annäherung an die Wahrheit die Sache ſo nehmen, als ob die Geſammtkraft beider Kräfte in zwei Puncten in der Axe des Stabes concentrirt wäre, die den Enden des Stabes ſehr nahe liegen und gleichweit von denſelben abſtehen. Dieß ſind die Puncte, welche man gewöhnlich die Pole des Stabes nennt.

28. Die Beſtimmung der Einwirkung aller Elemente eines Magnetes auf die Elemente eines andern bei jeder Lage und Geſtalt beider Magnete erfordert Rechnungen, welche die Kräfte der mathematiſchen Anfangsgründe überſteigen. Wir müſſen uns daher mit der Betrachtung einiger ſpeciellen Fälle begnügen, welche jedoch ſowohl zur Andeutung des Ganges des allgemeinen Verfahrens, als auch zu dem practiſchen Gebrauche hinreichen. Es ſey N S (Fig. 207) ein Magnetſtab, der auf eine Magnetnadel wirkt, die eine ſolche Stellung gegen den Stab hat, daß die Verlängerung ihrer Axe auf N S ſenkrecht ſteht und die Linie N S in a halbirt; ferner ſey die Entfernung beider Magnete von einander ſo groß, daß die Dimenſionen von n s gegen dieſelbe verſchwindend klein werden; N und n ſeyen Nordpole, S und s Südpole. Man betrachte nun die Wirkung der Pole S und N auf s. Auf s wirkt der Pol S abſtoßend nach der Richtung s b, der Pol N aber anziehend nach der Richtung s c. Stellen s b und s c die Größen dieſer Wirkungen vor, ſo iſt die Diagonale s d des Parallelogramms s b d c die reſultirende Wirkung beider Pole S und N. Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke s c d und s S N iſt $Ss : SN = sc : sd$ und demnach $sd = \frac{SN \cdot sc}{Ss}$. Nennt man $SN = \rho$, $Ns = Ss = a$, iſt ferner die Kraft, mit welcher der Pol N in der Entfernung $= 1$ auf s wirkt $= R$, ſo iſt $sc = \frac{R}{a^2}$ und daher $sd = \frac{R\rho}{a^3}$ (1). Auf gleiche Weiſe findet man die Action der Pole N u. S auf jeden andern Punct der Nadel n s. Ein anderer zum practiſchen Gebrauche geeigneter Fall iſt der, wo die Nadel n s (Fig. 208) ſenkrecht auf N S ſteht, die Verlängerung von N S die Nadel n s in b halbirt und die beiderſeitige Entfernung wieder ſo groß iſt, daß n s gegen dieſelbe verſchwindet. Da iſt die Wirkung des Poles N auf s gleich $\frac{R}{Ns^2}$, wenn R die vorhin angegebene Bedeutung behält. Iſt m der Halbirungspunct des

Stabes, $NS = \rho$, $mb = a$; ſo kann man $Ns = Nb = a - \frac{1}{2}\rho$ ſetzen, wonach man für die Wirkung des Poles N auf s den Ausdruck $\frac{R}{(a - \frac{1}{2}\rho)^2}$ erhält. Auf gleiche Weiſe findet man für die Wirkung des Poles S auf s den Ausdruck $\frac{R}{(a + \frac{1}{2}\rho)^2}$ und für die Wirkung beider Pole $\frac{R}{(a - \frac{1}{2}\rho)^2} - \frac{R}{(a + \frac{1}{2}\rho)^2} = \frac{2R\rho a}{(a - \frac{1}{2}\rho)^2 (a + \frac{1}{2}\rho)^2} = \frac{2R\rho a}{(a^2 - \frac{1}{4}\rho)^2}$ $= \frac{2R\rho}{a^3} + \frac{R\rho^2}{a^5} + \ldots$ Dieſer Ausdruck nähert ſich dem Werthe $\frac{2R\rho}{a^3}$ (2) deſto mehr, je größer a wird und erreicht ihn zuletzt völlig. Der Grenzwerth (2) iſt doppelt ſo groß als der für den erſten der zwei hier betrachteten Fälle gefundene Werth (1) der magnetiſchen Wirkung, beide aber ſtehen im verkehrten Verhältniſſe mit der dritten Potenz der Entfernung der beiden Magnete von einander. Da $R\rho = M$ gleich dem magnetiſchen Momente iſt, ſo hat man die hier beſprochenen Werthe der magnetiſchen Action $\frac{M}{a^3}$ und $\frac{2M}{a^3} + \frac{M\rho}{a^5} \ldots$ oder von letzterem den Grenzwerth herausgehoben, die Werthe $\frac{M}{a^3}$ und $\frac{2M}{a^3}$.

29. Es ſey ns (Fig. 209) jene Lage der Axe einer horizontalen um eine verticale Axe o frei beweglichen Magnetnadel, in welcher ſie durch den Erdmagnetismus im Gleichgewichte erhalten wird, und es werde in einer gegen die Länge dieſer Nadel großen Entfernung eine andere Nadel NS ſo befeſtiget, daß ihre, gleichfalls horizontale Richtung die Gerade ns in der Mitte o ſenkrecht durchſchneidet; ſo wird die erſte Nadel von der urſprünglichen Ruhelage abgelenkt und in eine andere n's' verſetzt, welche mit ns einen Winkel $non' = v$ bildet. Das Gleichgewicht der Nadel in der Lage n's' iſt das Reſultat zweier Kräfte, des mit ns parallel wirkenden horizontalen Erdmagnetismus und der mit NS parallel wirkenden Action des Magnetes NS. Zieht man n'x mit ns parallel, ferner n'y parallel mit NS und vollendet das Parallelogramm n'cfk, ſo ſind n'e und ef die zwei vorher genannten, auf ns wirkenden Kräfte, deren Reſultirende in der Verlängerung von s'n' liegen muß. Da hat man $tang\ en'f = \frac{ef}{en'}$ oder wenn man ef mit U, n'e mit T bezeichnet und bedenkt, daß $c'nf = non' = v$ iſt, $tang\ v = \frac{U}{T}$. Aber U iſt der in 28 gefundene Werth der magnetiſchen Wirkung $\frac{2M}{a^3}$, ſomit

$$tang\ v = \frac{2M}{Ta^3}.$$

Es iſt klar, daß die hier entwickelten Formeln bloß annäherungsweiſe richtig ſeyen, ſie reichen aber dort, wo es nicht auf die äußerſte Schärfe ankommt, ſelbſt bei mäßigen Werthen von a völlig zu. Die ſtrenge

Theorie findet man in der Abhandlung ihres Urhebers: Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Auctore *Carolo Friderico Gauss*. Gottingae 1833, und in Pogg. Ann. 28. 241, 591. Die Deduction dieſer Formeln enthält auch Dove's Repert. 2. 159.

Bringt man die Nadel NS in der durch ns gehenden Horizontalebene in eine ſolche Lage, daß ihr Mittelpunct in die Verlängerung von ns fällt und beide Nadeln einen rechten Winkel bilden, und ſtellt man den hierauf ſich beziehenden Ablenkungswinkel von ns und die Kraft der NS durch v′ und U′ vor; ſo hat man $tang\ v' = \frac{U'}{T}$, mithin $tang\ v : tang\ v' = U : U' = 2 : 1$, d. h. $tang\ v = 2\ tang\ v'$, oder wenn die Winkel v, v′ klein ſind, $v = 2v'$. Die Erfahrung beſtätiget dieſe Gleichung und dadurch auch, daß die Action der magnetiſchen Elemente dem Quadrate der Entfernung verkehrt proportionirt iſt.

30. Denkt man ſich eine ſehr kleine Magnetnadel in allen Entfernungen und nach allen Richtungen um einen magnetiſchen Körper herumgeführt, ſo wird dieſelbe an jeder Stelle eine beſtimmte Gleichgewichtslage annehmen, welche der Richtung der Reſultirenden aller magnetiſchen Kräfte entſpricht, die der Körper gegen jeden Punct der Nadel äußert. Eine Folge von Gleichgewichtslagen, welche ſich ergeben, indem die Nadel ſo verſchoben wird, daß ſtets der eine Pol derſelben den Platz erhält, den früher der andere einnahm, ſtellt eine krumme Linie dar, deren Tangenten ſämmtlich Gleichgewichtslagen der Magnetnadel ſind. Man nennt eine ſolche krumme Linie eine **magnetiſche Curve.** Jedem magnetiſchen Körper gehört alſo ein Syſtem ſolcher Curven, die ihn in immer mehr ſich erweiternden Bögen umgeben. Eine krumme Fläche, welche ſämmtliche magnetiſche Curven ſenkrecht durchſchneidet, gegen die daher die Richtung der Reſultirenden der magnetiſchen Kräfte des Körpers überall normal ſteht, heißt eine **magnetiſche Gleichgewichtsfläche.**

Die Geſtalt der magnetiſchen Curven eines Stabes läßt ſich ſehr leicht dem Auge darſtellen, wenn man den Stab mit einem Bogen Papier, deſſen Dimenſionen die Länge des Stabes überſchreiten, bedeckt und Eiſenfeile darauf ſtreut. Die durch den Einfluß des Stabes magnetiſch gewordenen Eiſentheilchen hängen ſich an einander, und laſſen, indem ſie dabei die Richtung einer kleinen Magnetnadel in ihrer Gleichgewichtslage annehmen, den Lauf der magnetiſchen Curven deutlich erkennen. Die Geſtalt derſelben ſtimmt mit derjenigen überein, welche ſie geometriſchen Betrachtungen zufolge haben müſſen, in ſo fern dem Stabe bloß ſeine beiden Pole mit entgegengeſetzten, dem Quadrate der Entfernung des Punctes, worauf ſie wirken, verkehrt proportionalen Kraftäußerungen ſubſtituirt werden.

31. Auf practiſchem Wege beſtimmt man die Größe und Richtung der magnetiſchen Kraft, die ein Körper auf ſeine Umgebung auszuüben vermag, am beſten, wenn man ſich dieſe Kraft nach beſtimmten Richtungen zerlegt denkt, und die Größen der Componenten auszumitteln ſucht. So kann man bei einem Stabe die ſeiner Länge parallele Componente der Reſultirenden ſeiner magnetiſchen Kräfte von der gegen ſeine Länge ſenkrechten Componente ſondern und jede einzeln

unterſuchen. Man kann ſich hiezu der Schwingungsverſuche mit einer Probenadel bedienen, die man einmal bloß unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus, das andere Mal unter dem vereinten Einfluſſe des Erd- und des Stabmagnetismus oſcilliren läßt (S. 365) oder auch die Drehwage in Anwendung bringen (S. 367). Coulomb und in der neueſten Zeit Kupfer haben Verſuche dieſer Art angeſtellt. Prüft man mit einer bloß horizontal beweglichen Magnetnadel einen langen cylindriſchen oder prismatiſchen, gleichförmig magnetiſirten Stab in Abſicht auf die gegen ſeine Längenaxe ſenkrechte Componente der magnetiſchen Kräfte, zu welchem Behufe man den Stab in verticaler Lage auf die Nadel einwirken läßt; ſo findet man dieſe Componente in der Mitte = o und bei gleichem Abſtande der Nadel vom Stabe gegen die Enden hin auf einerlei Weiſe raſch zunehmend. In den Querſchnitten, wo die Maxima der Kräfte ſich einſtellen, liegen die Pole. Eine Stelle, wo die erwähnte Componente = o erſcheint, heißt überhaupt ein Indifferenzpunct. Bei einem Stabe, der ungleichförmig magnetiſirt wurde, liegt der Indifferenzpunct nicht in der Mitte, und wenn der Stab mehrere Pole (Folgepuncte) hat, zeigen ſich auch mehrere Indifferenzpuncte.

Verzeichnet man eine Curve, der die Entfernungen der verſchiedenen Stellen am Stabe von der Mitte als Abſciſſen, und die darauf ſich beziehenden, gegen die Axe ſenkrechten Kräfte in einer beſtimmten, durch die Axe geführten Ebene als Ordinaten entſprechen; ſo bleibt das Bildungsgeſetz der Curve bei Stäben von ähnlichem Querſchnitte, aber verſchiedener Länge dasſelbe, vorausgeſetzt, daß die Dimenſionen des Querſchnittes gegen die Länge des Stabes gering ſind. Bei einem Verſuche, den Coulomb über die Vertheilung der magnetiſchen Kraft in einem 27 Zoll langen Stahlſtabe angeſtellt hat, ergab ſich, daß die Größe dieſer Kraft in den Stellen, deren Entfernung vom Nordende 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 war, durch die Zahlen 165, 90, 48, 23, 9, 6 ausgedrückt wurde. Derſelbe Gelehrte fand durch Rechnung, daß die Pole dieſer Stange 18 L. von jedem Ende entfernt waren. An rautenförmigen breiten Magnetſtäben liegen die Pole nicht weit vom Centrum. Bei ſehr kurzen Magneten befinden ſich die Pole um $1/6$ der Länge von jedem Ende entfernt; breite und kurze Magnete haben oft mehrere Pole, bei Ringen liegen ſie nicht immer in einem Durchmeſſer. Bei pfeilartigen Magneten gibt es ſelten conſtante Pole. Ein bis zur Sättigung magnetiſirter, an einem Ende abgerundeter Stab hat die indifferente Stelle in der Mitte; wird jenes Ende zugeſpitzt, ſo rückt der Indifferenzpunct der Spitze näher.

32. Unterſucht man eine Stahlſtange, nachdem man ſie ein-, zwei- oder dreimal ꝛc. mit einem Magnet geſtrichen hat, ſo erfährt man den Zuwachs der Kraft, den ſie durch jeden Strich erhält, und überzeugt ſich, daß dieſe Zunahme mit jedem folgenden Striche geringer wird, je mehr ſich der magnetiſche Zuſtand der Stange jenem der Sättigung nähert. Jede Umkehrung der Pole eines Magnetes ſchwächt ſeine Empfänglichkeit für den Magnetismus, und es iſt daher ein Stab immer des ſtärkſten Magnetismus fähig, wenn ſeine Pole noch nie umgekehrt worden ſind. Ja ſelbſt wenn man einem Magnet, deſſen Pole umgekehrt worden ſind, ſeine erſtere Polarität wieder geben will,

ſo iſt für ihn jene Streichmethode am ausgiebigſten, durch die er zuerſt magnetiſirt wurde. (Quetelet in Ann. de Chim. 53. 148.) Uebrigens iſt ein Magnet gleich nach dem Streichen und bevor der Anker weggeriſſen worden iſt, am ſtärkſten, jedes Wegreißen des Ankers ſchwächt ſeine Kraft, aber deſto weniger, je öfter man den Anker bereits weggeriſſen hat; zuletzt kommt man dahin, daß kein weiteres Wegnehmen des Ankers mehr ſchwächend auf die magnetiſche Kraft einwirkt. Weiches Eiſen hält den Magnetismus ſtark und lange, wenn man den Anker nicht wegnimmt; das erſte Wegnehmen des Ankers vernichtet aber gewöhnlich die ganze Kraft deſſelben. In einem Bündel gleich ſtark magnetiſirter Stahlſtäbe haben die äußeren ſtets eine ſtärkere Kraft als die inneren, und alle zuſammen überhaupt eine geringere als die Summe der magnetiſchen Kräfte der einzelnen Stäbe war. Dieſes ſcheint anzudeuten, daß auch in einem einzigen Stabe die magnetiſche Kraft von außen nach innen abnehme.

33. Schon durch die bloße Prüfung des Tragvermögens eines Magnetes, noch beſſer aber durch Schwingungsbeobachtungen erfährt man den Einfluß des Lichtes, der Wärme und der mechaniſchen Behandlung auf einen Magnet. Jede Erſchütterung ſchwächt den Magnetismus, Schlagen und Stoßen kann denſelben ganz vernichten, die Einwirkung des Lichtes ſoll nach Zantedeschi (Zeitſchr. 1. 365) die magnetiſche Kraft ſteigern. Die Wärme wirkt ſchwächend auf die Kraft ſelbſtſtändiger Magnete. Schon Gilbert hat dieſes erfahren und Sauſſure hat, um dieſen Einfluß zu erkennen, ein beſonderes Inſtrument (Magnetometer) conſtruirt, bei welchem ein Eiſenpendel durch einen Magnet deſto mehr aus der Lage, wohin es die Schwere verſetzt, gebracht wird, je mehr jener darauf wirkt. Schärfere Reſultate erhält man mittelſt der Schwingungsmethode, wie ſie Chriſtie, Hanſteen, Kupffer (Ann. de Chim. 30. 113) und zuletzt Rieß und Moſer (Pogg. Ann. 17. 403) zu dieſem Behufe angewendet haben. Die Unterſuchungen der letzteren haben über die Einwirkung der Wärme auf den Magnetismus zu folgenden Reſultaten geführt: Man muß eine zweifache Wirkung der Wärme auf Magnete unterſcheiden, die eine iſt bleibend, wenn auch die Temperatur, von der ſie hervorgebracht wurde, vorübergegangen iſt, die andere verſchwindet mit der ſie erzeugenden Temperatur und kehrt mit ihr wieder zurück; erſtere hängt von dem Stoffe ab, an welchen der Magnetismus gebunden iſt, und iſt daher im Eiſen anders als im Stahl, im weichen Stahl anders als im gehärteten, die letztere geht den Magnetismus allein an und iſt von der Natur des Magnetes unabhängig; jene läßt ſich nicht im Allgemeinen in Rechnung bringen, für letztere gibt es Formeln, nach denen ſie berechnet werden kann. Wird ein Magnetſtäbchen aus weichem Stahl in heißes Waſſer getaucht, nach dem Abkühlen unterſucht, dann wieder eingetaucht und dieſes Verfahren hinter einander öfter wiederholt; ſo findet man ſeine magnetiſche Kraft nach jedem Eintauchen ſchwächer, wenn es auch weder durch Oxydation, noch auf andere Weiſe eine Aenderung ſeiner Natur erlitten hat,

aber die Schwächung nimmt ab, je öfter man bereits den Verſuch vorgenommen hat, und zuletzt benimmt dem Magnete ein ferneres Erhitzen nichts mehr von jener Kraft, die er im kalten Zuſtande beſitzt. Magnetiſirt man ihn abermals, bis er ſeine anfängliche Kraft wieder erhalten hat, ſo wirkt eine Erhitzung gerade wie vorher auf ihn. Stäbchen aus hartem Stahl verhalten ſich ganz anders, ſie verlieren durch Erhitzen mehr als weiche, haben aber nach dem vollſtändigen Erkalten eine ſtärkere Kraft als während des Erkaltens, und verlieren, wenn man ſie mehrmal magnetiſirt und immer wieder erhitzt, dadurch jedesmal weniger, bis ſie endlich gegen jede Erhitzung ganz unempfindlich werden und daher keiner bleibenden Einwirkung von Seite der Wärme mehr unterliegen. Bei weichem magnetiſirten Eiſen gibt es überhaupt keine ſolche bleibende Einwirkung der Wärme, und da der Magnetismus deſſelben kein anderer ſeyn kann, als jener des Stahles, und dieſer eine Schwächung durch Temperaturerhöhung erleidet; ſo geht daraus hervor, daß durch Wärme zugleich die Empfänglichkeit des Eiſens für Magnetismus erhöht wird, und daß ſich im Eiſen beide Wirkungen der Wärme compenſiren. — Viel genauer iſt aber das von Weber eingeſchlagene Verfahren, welches in der Beobachtung der Veränderungen der Ablenkung beſteht, die ein den Temperaturänderungen ausgeſetzter Magnetſtab an einem andern beweglich aufgehängten hervorbringt. Hiezu dient vorzüglich das von Gauß angegebene, im folgenden Kapitel näher zu beſchreibende Magnetometer. Nach Weber's Beobachtungen ſind die Variationen des Stabmagnetismus 1) bei ſteigender Temperatur einem andern Geſetze unterworfen, als bei ſinkender; 2) ſie hängen von der Intenſität des Magnetismus ab und ſind bei ſtärkerem Magnetismus weit geringer, als bei ſchwachem; 3) ſie treten nicht augenblicklich im vollen Maße ein, ſondern es dauert die Wirkung einer Temperaturänderung noch fort, wenn ſchon eine conſtante Temperatur vorhanden iſt. (Reſultate aus den Beobachtungen des magnetiſchen Vereins im Jahre 1837. Herausgegeben von C. F. Gauß und W. Weber. S. 38.)

Die vorübergehende Wirkung der Wärme läßt ſich für cylindriſche, 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000461)\,(t' - t)\,d$, für Nadeln von 34 Linien und etwas darüber nach der Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000324)\,(t' - t)\,d$ berechnen, wo J' und J die Intenſität des Magnetismus für die Temperaturen t' und $t°$ R., und d den Durchmeſſer der Nadel in Par. L. bezeichnen Bei Kupffer's Verſuchen hatte ein Magnetſtab, der von 13° auf 80° R. erwärmt worden war, bei letzterer Temperatur nur etwa 0,85 der vorigen Kraft, aber ſelbſt als er wieder auf 13° R. abgekühlt war, betrug ſeine Stärke nur 0,94 der urſprünglichen. Bei einer Erhöhung der Temperatur rücken die Pole dem Mittelpuncte der Stange immer näher. Etwas Aehnliches geht vor, wenn eine Eiſenſtange erwärmt wird, die bloß vom Erdmagnetismus afficirt wird. Erwärmt man nur die Hälfte eines Magnetes, ſo entfernt ſich der Indifferenzpunct vom erwärmten Ende; erkältet man eine Magnethälfte. ſo rückt dieſer Punct näher an das zugehörige Ende. Letzteres erfährt man am leichteſten, wenn man eine kleine Magnetnadel zwiſchen zwei in derſelben Horizontalebene befindliche und auf ihrer Richtung ſenkrechte Magnetſtangen ſo anbringt,

daß die Nadel nicht aus dem magnetiſchen Meridiane verrückt wird, in welchem Falle die Indifferenzpuncte beider Magnete in die Richtung der Magnetnadel fallen. Wird nun die Hälfte einer der zwei Stangen erwärmt, ſo wird die Magnetnadel alſogleich abgelenkt, zum Beweiſe, daß der Indifferenzpunct verrückt worden iſt. Die Richtung dieſer Ablenkung gibt zugleich die Richtung der Bewegung des Indifferenzpunctes an. Soll ein Magnet ſeine Kraft möglichſt unverändert beibehalten, ſo muß man ihn aus glasbartem Stahle verfertigen, nach dem Magnetiſiren mehrere Male hinter einander in etwa 40° heißes Waſſer tauchen, ihn möglichſt vor jeder Erſchütterung ſichern und das Oxydiren deſſelben verhüten Letzteres ſoll dadurch am leichteſten geſchehen, daß man ihn in Kalkwaſſer liegen läßt oder in ein Tuch wickelt, das vorläufig in Kalkwaſſer oder in eine wäſſerige Glauberſalzlöſung getaucht und hierauf gut getrocknet worden iſt.

34. Ein Magnet ſucht in jedem Körper, in deſſen Nähe er kommt, die beiden magnetiſchen Kräfte von einander zu trennen und ihn ſelbſt zu einem Magnete zu machen; aber der Erfolg dieſes Beſtrebens iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto bedeutender, je kleiner die Coercitivkraft eines ſolchen Körpers iſt. Darum ſind Verſuche über die Einwirkung verſchiedener Körper auf die Richtung eines frei ſchwebenden Magnets oder über die Einwirkung eines Magnets auf einen andern frei ſchwebenden Körper beſonders geeignet, uns über die Größe der Coercitivkraft in verſchiedenen Materien und über den Einfluß äußerer Umſtände auf dieſelbe Aufſchluß zu geben. Wenn man eiſerne Stäbe nach einander in eine gewiſſe Lage und Entfernung gegen eine ſehr bewegliche Magnetnadel bringt und die Ablenkung beobachtet, welche ſie durch jeden einzelnen erleidet; ſo erfährt man dadurch die Größe der Einwirkung dieſer Stäbe. Barlow fand auf dieſem Wege, daß Stäbe von verſchiedener Härte in der Richtung der magnetiſchen Neigung auch verſchieden auf eine Magnetnadel einwirken. Nach ſeinen Verſuchen iſt die Einwirkung des Schmiedeiſens am größten, hierauf folgt weicher Gußſtahl, dann weicher Brennſtahl, dann natürlicher weicher Stahl, hierauf derſelbe gehärtet, und zuletzt Gußeiſen. Es hat daher Schmiedeiſen die kleinſte, Gußeiſen die größte Coercitivkraft, und die der übrigen liegt in der angeführten Ordnung zwiſchen beiden. Die Coercitivkraft iſt in demſelben Eiſen bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden, beſonders bei der Weiß- und Rothglühhitze. Biegt man ein Stück Eiſen hufeiſenförmig, ſo kann man zwiſchen die zwei Arme deſſelben, die A und B heißen mögen, einen Pol eines Magnetes ſo ſtellen, daß er durch das Eiſen keine Ablenkung erleidet, mithin beide Arme deſſelben gleich ſtark darauf einwirken. Erhitzt man nun das Eiſen in der Nähe von B bis zum Weißglühen, ſo wird der Magnet von A angezogen, thut man daſſelbe in der Nähe von A, ſo zieht B den Magnet an. Erhitzt man z. B. B bis zum Weißglühen und hält an den hinteren Theil des Hufeiſens einen Pol eines ſtarken Magnetes, ſo erlangt das kalte Ende A einen ſtärkeren Magnetismus als B; ſobald aber beim Auskühlen die Temperatur von B zur Rothglühhitze herabgeſunken iſt, hat B die größere Kraft. (Barlow in Gilb. Annalen 37. 229. Ritchie in Pogg. Ann. 14.

150.) Hieraus kann man ſchließen, daß die Coercitivkraft des weißglühenden Eiſens durch den Einfluß des Magnetes nicht überwältigt werde, die des rothglühenden hingegen leichter als die des kalten, mithin, daß die Coercitivkraft durch Weißglühhitze geſteigert, durch Rothglühhitze hingegen geſchwächt werde. Merkwürdig iſt es, daß ein Stäbchen aus weichem Eiſen, deſſen Coercitivkraft durch zwei hinreichend entfernte Magnete, zwiſchen deren entgegengeſetzten Polen es ſich befindet, nicht überwältigt, und welches daher durch ſie nicht magnetiſch wird, alſogleich als Magnet erſcheint, wenn es in dieſer Lage durch einen harten Körper, wie durch Meſſing, Kupfer, Zink, Glas oder Holz der Länge nach gerieben wird.

Nach Coulomb gibt es keine Subſtanz, die gegen einen Magnet ganz unempfindlich iſt, deren Coercitivkraft daher nicht einigermaßen davon afficirt wird; denn kleine frei ſchwebende Nadeln von was immer für einem organiſchen oder unorganiſchen Stoffe nehmen eine beſtimmte Stellung an, wenn man ſie zwiſchen die entgegengeſetzten Pole ſtarker Magnete bringt, und ſetzt man ſie in Schwingungen, ſo werden ſie auffallend durch die Magnete beſchleunigt. Merkwürdig iſt es, daß alle Legirungen, die Eiſen enthalten, ja reines Eiſen ſelbſt, wenn es aus mehreren unregelmäßig angehäuften Bruchſtücken beſteht, zwiſchen den Polen ſtarker Magnete eine Lage annehmen, bei welcher ihre Längenaxen mit der Axe der Magnete einen Winkel einſchließen, welches beweiſet, daß ſie ſelbſt magnetiſch geworden ſind, daß aber ihre Pole in einer Querlinie (transverſal) liegen. (Seebeck in Pogg. Ann. 10, 203. Becquerel ebend. 12. 622.)

35. Körper, deren Coercitivkraft gering iſt, werden ſchon durch den Erdmagnetismus in einen magnetiſchen Zuſtand verſetzt, ſobald ſie eine dazu paſſende Lage haben, und durch Schlagen, Drehen, Winden und jede entſprechende Erſchütterung kann die Empfänglichkeit für dieſe Art der Magnetiſirung erhöht und die ſo erzeugte magnetiſche Polarität dauernd gemacht werden, während ſie ſonſt leicht vorübergeht. (Vergleiche 7. Anmerkung) Eine vertical ſtehende weiche Eiſenſtange hat immer unten einen Nordpol, oben einen Südpol, ja nach Hanſteen iſt dieſes mit jedem vertical ſtehenden Körper, ſogar mit Bäumen, Mauern ꝛc. der Fall. In einer Maſſe aus weichem Eiſen oder Stahl bringt das Vorhandenſeyn der abſichtlich durch Magnetiſiren und der durch die Erde erzeugten magnetiſchen Kraft merkwürdige Erſcheinungen hervor. An einem magnetiſirten Stahlſtabe iſt in einer verticalen Stellung deſſelben der Magnetismus ſtets größer, wenn der Nordpol abwärts gekehrt iſt, als wenn er aufwärts gerichtet iſt, weil im erſten Falle die vom Erdmagnetismus erregten Pole mit den gleichnamigen, im zweiten hingegen mit den ungleichnamigen, künſtlich erzeugten zuſammenfallen. Beſonders auffallend iſt das Verhalten regulärer, z. B. ſphäriſcher oder kubiſcher, vom Erdmagnetismus afficirter Körper, welches zuerſt Barlow (Gilb. Ann. 37. 1) und hierauf Schmidt (ebend. 74. 225) näher unterſucht haben. Nach Barlow gibt es in einer Kugel gewiſſe Kreiſe, in welchen ſie auf einen Magnet gar nicht einwirkt, während ſie in andern Stellun-

gen bald anziehend, bald abſtoßend wirkt. Dasſelbe findet mit Würfeln Statt. Iſt z. B. SN (Fig. 210) eine horizontal ſchwebende Magnetnadel, C ihr Mittelpunct, I, II, III eine ſtörende Eiſenmaſſe in drei verſchiedenen Lagen, wovon I ſo ſteht, daß der durch den Mittelpunct der Magnetnadel C gehende magnetiſche Aequator CD den Mittelpunct der Eiſenmaſſe trifft. In jeder der drei Lagen iſt die Eiſenmaſſe durch den Erdmagnetismus in zwei magnetiſche Hälften getheilt, s ihr Südpol, n ihr Nordpol, während N der Nordpol und S der Südpol der Magnetnadel iſt. s wirkt auf N anziehend und auf S abſtoßend, n hingegen auf N abſtoßend und auf S anziehend. Die Pole n und s wirken auf N ſtärker als auf S, und beide Wirkungen erfolgen zuſammen eben ſo, als wenn N und S in C vereinigt wären. Deßhalb müſſen n und s in I auf C gleich ſtark, aber entgegengeſetzt wirken und können keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbringen, während in II der Pol n und in III der Pol s vorherrſchend auf C wirkt, und daher dort der Nordpol der Nadel abgeſtoßen, hier angezogen wird. Dieſem gemäß ſind leicht zwei Eiſenmaſſen denkbar, die auf eine Magnetnadel zwei gleiche und entgegengeſetzte Eingriffe ausüben und ſie daher gar nicht aus ihrer Lage bringen, und man wird ſich vorſtellen können, wie die Wirkung einer Eiſenmaſſe auf einen Magnet durch Zugabe einer andern Eiſenmaſſe, die eine beſtimmte Stellung einnimmt, aufgehoben werden könne Von dieſer Art iſt die ſogenannte neutraliſirende Platte, welche Barlow auf Schiffen anbringt, um durch ſie den Einfluß des Eiſens auf den Compaß für jede Stellung des Schiffes gegen die Weltgegenden aufzuheben.

36. Im Allgemeinen iſt die Wirkung einer Eiſenmaſſe, die ihren Magnetismus dem Einfluſſe eines conſtanten Magnetes verdankt, ein zuſammengeſetztes Phänomen, beſtehend aus dem Inbegriffe der Wirkungen ſämmtlicher freien Magnetismen, ſowohl in dem Magnete, als auch in der Eiſenmaſſe. Damit ein Körper magnetiſche Kräfte offenbaren könne, müſſen die Magnetismen ſeiner Elemente geſchieden ſeyn; ein ſolcher Körper iſt im unmagnetiſchen Zuſtande, wenn von jedem Puncte deſſelben gleiche und entgegengeſetzte magnetiſche Kräfte ausgehen, deren Actionen ſich wechſelſeitig aufheben; die Scheidung der Magnetismen bewirkt, daß nunmehr von den Puncten des Körpers nicht durchgehends gleiche und entgegengeſetzte magnetiſche Kräfte ausgeübt werden; der Ueberſchuß der einen Kraft über die andere in jedem einzelnen Puncte iſt das, was wir den freien Magnetismus dieſes Punctes nennen. Ein Magnet, dem ein Anker vorgelegt wird, erſcheint bezüglich ſeiner Wirkung nach außen geſchwächt, weil ein Theil ſeiner Wirkung durch die entgegengeſetzte Wirkung des nunmehr mit freien Magnetismen verſehenen Ankers aufgehoben wird. Hiernach erhalten die Redensarten mancher Phyſiker, welche von einem wechſelſeitigen Binden der Magnetismen und der damit zuſammenhängenden Unterdrückung der Wirkungsfähigkeit nach außen ſprechen, ihre wahre Deutung. Ein Gleiches gilt von dem Hemmen der magnetiſchen Kraft durch Körper, welche der Magnetiſirung fähig ſind. Ein intereſſantes hieher gehö-

rendes Theorem hat Poiſſon durch Rechnung gefunden. Denkt man ſich einen Magnet im Innern einer durch zwei concentriſche Kugelflächen begrenzten Maſſe weichen Eiſens, ſo iſt die Wirkung des Magnetes und der Eiſenmaſſe auf jeden äußeren Punct = o. Eben ſo verſchwindet die Wirkung eines äußeren Magnetes bezüglich jedes Punctes im Innern der Hohlkugel.

Viertes Kapitel.

Nähere Betrachtung des Erdmagnetiſmus.

37. Auf der Erde treffen wir außer der Schwere noch eine andere große Naturkraft, die magnetiſche, an. Während erſtere alle Körper afficirt, erſtreckt ſich die Wirkung der letzteren nur auf ſolche Körper, welche auch andere Magnete afficiren, und während die Schwere den Körpern eine fortſchreitende Bewegung ertheilt, bewirkt der Erdmagnetiſmus an ſolchen, die in ſein Bereich fallen, nur eine drehende Bewegung. Der Erdmagnetiſmus fordert zur vollſtändigen Erkenntniß ſeiner Wirkungsweiſe, wie jede andere Kraft, daß ſeine Richtung und Stärke beſtimmt ſey. Es iſt ſchon vorher (19) geſagt worden, daß eine gegen die Wirkung der Schwere geſchützte, ſonſt aber frei bewegliche Magnetnadel in der Richtung der erdmagnetiſchen Kraft im Gleichgewichte ſtehe. Eine ſolche Nadel bezeichnet demnach die Richtung des Erdmagnetiſmus am Beobachtungsorte. Um dieſe leichter und genauer beſtimmen zu können, theilt man ſie gleichſam in zwei Theile, indem man ſie einerſeits auf den geographiſchen Meridian, andererſeits auf die Horizontalebene bezieht und den Winkel mißt, den ſie mit jeder dieſer Ebenen einſchließt. Einer dieſer Winkel iſt bekanntlich die magnetiſche Abweichung, der andere die magnetiſche Neigung.

Schon dieſer Umſtand allein rechtfertigt das hohe Intereſſe, welches die Unterſuchung des Erdmagnetiſmus längſt bei den Phyſikern gefunden hat. Der Nutzen, mit welchem der Compaß in der Navigation, Geodäſie ꝛc. gebraucht wird, verleiht dieſem Intereſſe noch eine allgemeinere praktiſche Seite. Die Unvollkommenheit der Beobachtungsmethoden entzog bis zu den letzteren Jahren manche wichtige Thatſache der Wahrnehmung; allein ſeitdem Gauß den Hilfsmitteln zur Beſtimmung der Größen, die rückſichtlich der erdmagnetiſchen Kraft in Frage kommen, den Grad der Präciſion zu ertheilen wußte, deſſen ſich die aſtronomiſchen Beobachtungen ſeit geraumer Zeit erfreuen, beginnt eine neue Epoche des Fortſchreitens unſerer Kenntniß des Erdmagnetiſmus, und es läßt ſich bei der allgemeinen Theilnahme an dieſem Gegenſtande und nach den bereits erzielten Reſultaten eine baldige ergiebige Ernte erwarten.

38. Die vollſtändige Kenntniß der erdmagnetiſchen Kraft an einem gegebenen Orte und in einem gegebenen Augenblicke beruht auf der Beſtimmung der eben benannten zwei Größen, nämlich der Abweichung und Neigung, und noch einer dritten, der Intenſität des

Erdmagnetismus. Letztere läßt ſich aus der Neigung berechnen, wenn man ihre horizontale Componente kennt. Dieſe Componente werden wir der Kürze wegen mit Gauß die horizontale Intenſität nennen. Wie bereits bemerkt wurde, geben die Abweichung und Neigung mit einander verbunden die Richtung der erdmagnetiſchen Kraft zu erkennen, die Größe dieſer Kraft aber erhält man, wie an dem entſprechenden Parallelogramm der Kräfte leicht zu ſehen iſt, wenn man die horizontale Intenſität durch den Coſinus der Neigung dividirt. Man kann ſich bei den auf den Erdmagnetismus Bezug habenden Beobachtungen entweder die Angabe der Abweichung, der Neigung, der horizontalen Intenſität an ſich betrachtet, d. h. die Beſtimmung der abſoluten Werthe dieſer Größen zum Ziele ſetzen, oder bloß die Variationen erforſchen, denen die genannten Größen innerhalb eines beliebigen Zeitraumes unterworfen ſind. Die Beſtimmung der Variationen verdient deßhalb eine beſondere Beachtung, weil ſie in der Regel bei weitem leichter und ſchneller bewerkſtelliget wird, als eine abſolute Meſſung, die mehr Zeit erfordert, ſchwieriger auszuführen und daher nicht geeignet iſt, die während einer kurzen Zeit an der erdmagnetiſchen Kraft obwaltenden Veränderungen wahrzunehmen.

39. Zur Beſtimmung der Abweichung hat man längſt eigene Inſtrumente, ſogenannte Declinatorien conſtruirt, die meiſtens complicirt gebaut und koſtſpielig ſind. Allen bis jetzt bekannten macht das von Gauß angegebene Magnetometer den Rang ſtreitig. Dieſes beſteht aus einem 1 — 25 Pfund ſchweren, an Seidenfäden oder Metalldraht hängenden Magnetſtabe von 1 — 4 Fuß Länge und angemeſſener Breite und Dicke. An einem Ende dieſes Stabes iſt ſenkrecht darauf ein kleiner Planſpiegel aufgeſetzt. Der Stab befindet ſich in einem Kaſten, durch deſſen Decke der Aufhängungsfaden geht, und welcher an der Seitenwand, welcher der Spiegel zugekehrt iſt, eine Oeffnung hat, die etwas größer iſt als der Spiegel. Dieſem gegenüber, etwa in der Entfernung von 16 Fuß, befindet ſich ein Theodolith, deſſen Fernrohr die Axe im magnetiſchen Meridian hat und auf die Mitte des Spiegels gerichtet iſt. Der Theodolith ſteht etwas höher als die Magnetnadel hängt, und daher muß das Fernrohr ſtets etwas nach abwärts geneigt ſeyn. Am Stativ des Theodoliths befindet ſich eine in Millimeter getheilte, horizontal laufende Scale, in einer auf den magnetiſchen Meridian ſenkrechten Richtung. Durch das Fernrohr ſieht man im Spiegel einen Theil der Scale, und kann leicht wahrnehmen, welcher Theilſtrich durch den Ocularfaden im Geſichtsfelde des Fernrohres gedeckt wird. Aendert ſich die Lage des Magnetſtabes, ſo tritt ein anderer Theilſtrich hinter den Ocularfaden. Der Werth des Abſtandes zweier Theilſtriche der Scale kann nach der bekannten Entfernung des Fernrohres und der Scale vom Spiegel im Bogenmaße gefunden werden. Von der Mitte des Objectivs hängt ein feiner, durch ein Gewicht geſpannter Faden herab und bezeichnet auf der Scale den Punct, welcher mit der optiſchen Axe des Fernrohres in derſelben Verticalebene liegt. Hiernach erkennt man leicht, ob keine Aenderung in der

Lage der Scale gegen das Fernrohr Statt gefunden habe. Zur Wahrnehmung einer etwa vorgegangenen Veränderung in der Lage des Fernrohres ſelbſt dient ein Strich (eine Mire) an der gegenüberſtehenden Wand des Locales, worin das Inſtrument aufgeſtellt iſt, den man ohne Verſtellung des Oculars des Fernrohres deutlich ſehen kann, und der ſtets mit dem Ocularfaden übereinſtimmen muß. Zu dem Gebrauche des Inſtrumentes iſt noch eine gute Uhr erforderlich. Es iſt klar, daß, wenn die Magnetnadel um den magnetiſchen Meridian oder in deſſen Nähe oscilliren ſoll, ſie nur der Einwirkung des Erdmagnetismus unterworfen ſeyn dürfe, und daß jeder ſtörende Einfluß von Körpern, die des Magnetismus fähig ſind, beſeitiget werden müſſe. Darum iſt es nöthig, daß ein ſogenanntes magnetiſches Obſervatorium ganz eiſenfrei ſey.

Eine ausführliche Beſchreibung aller Theile des Magnetometers findet man in Gauß und Weber's Reſultaten aus den Beobachtungen des magnetiſchen Vereins im Jahre 1836. S. 13. Weber hat das Inſtrument auf kleine Dimenſionen gebracht und für Reiſen ꝛc. tragbar eingerichtet (Reſultate für 1838. S. 68). Auch ſind bereits Abänderungen der urſprünglichen Einrichtung beſonderer Localitätsverhältniſſe wegen verſucht worden (Collimator, Kreil's Spiegelmire)

40. Wäre der Magnetſtab vollkommen in Ruhe, ſo unterläge die Beſtimmung der magnetiſchen Abweichung gar keiner Schwierigkeit, indem ſie einer gewöhnlichen genauen Winkelmeſſung mittelſt eines Theodoliths gleich käme; allein der Stab iſt in beſtändigen Schwingungen begriffen und man muß aus dieſen die Stellung ableiten, die er in gewiſſen nicht weit von einander entfernten Zeitpuncten haben würde, wenn er in Ruhe wäre. Dieß iſt durch ein beſonderes Beobachtungsverfahren leicht zu erzielen. Man darf nämlich das Mittel aus zwei Stellungen des Stabes, die zweien genau um eine Schwingungsdauer deſſelben von einander abſtehenden Augenblicken entſprechen, als die Lage des magnetiſchen Meridians anſehen. Iſt alſo t die Schwingungsdauer des Stabes, und ſind S, S′ die Zahlen auf der Scale des Magnetometers, welche am Ende der Zeiten $\Theta - \frac{1}{2}t$, $\Theta + \frac{1}{2}t$ vom Ocularfaden gedeckt werden; ſo iſt $\frac{1}{2}(S + S')$ die Zahl, welche der Lage des magnetiſchen Meridians für das Ende der Zeit Θ entſpricht. Zu größerer Sicherheit können mehrere Beobachtungen, die ſich auf die Zeiten $\Theta - \frac{5}{2}t$, $\Theta - \frac{3}{2}t$, $\Theta - \frac{1}{2}t$, $\Theta + \frac{1}{2}t$, $\Theta + \frac{3}{2}t$, $\Theta + \frac{5}{2}t$ beziehen, gemacht, aus je zwei auf einander folgenden Reſultaten das Mittel genommen und der fünfte Theil der Summe dieſer Mittel als eine vollkommen verläßliche Angabe der Stellung des magnetiſchen Meridians für das Ende der Zeit Θ betrachtet werden. (Reſultate f. 1836. S. 34, f. 1837. S. 104.)

41. Das Gauß'ſche Magnetometer dient auch zur Beſtimmung der Aenderungen der magnetiſchen Abweichung, ja dieſes Inſtrument kann zu dieſem Zwecke ſogar noch dann dienen, wenn das Locale, wo es aufgeſtellt worden, nicht eiſenfrei iſt; nur müſſen die etwa vorhandenen Eiſenmaſſen während der Beobachtung ihre Lage gegen das In-

ſtrument beibehalten. Der Magnetſtab oscillirt nämlich immer um den magnetiſchen Meridian. Haben t, Θ, S und S′ die vorher angenommene Bedeutung, ſo iſt, wie vorhin bemerkt wurde, $\frac{1}{2}(S + S')$ die Zahl an der Scale, welche der Lage des magnetiſchen Meridians für das Ende der Zeit Θ entſpricht. Es geben alſo die für eine Reihe von Zeiten $\Theta, \Theta', \Theta''\ldots$ erhaltenen Reſultate die dieſen Zeiten entſprechenden Lagen des magnetiſchen Meridians, mithin auch die ſucceſſiven Veränderungen der Declination an.

42. Zur Beſtimmung der magnetiſchen Neigung hat man ein beſonderes Inſtrument, welches magnetiſches Inclinatorium heißt. Die Conſtruction eines ſolchen Inſtrumentes iſt bedeutenden Schwierigkeiten unterworfen, weil es ſehr ſchwer hält, einen Magnet genau in ſeinem Schwerpuncte zu unterſtützen und um eine horizontale Axe ſehr beweglich zu machen. Indeß kann man durch ein von J. Mayer angegebenes, ſehr ſinnreiches Verfahren doch ſehr genaue Reſultate erhalten. Es beruht auf der Combination von vier Beobachtungen, die ſich durch Umlegen der Nadel und Umkehrung ihrer Pole ergeben. Es ſey NS (Fig. 211) eine um die horizontale Axe C bewegliche Magnetnadel, die ihren Schwerpunct außerhalb der Axe in G hat und durch den gleichzeitigen Einfluß ihres Gewichtes und der erdmagnetiſchen Kraft in der verzeichneten Lage im Gleichgewichte ſteht. Iſt NA die Richtung des Erdmagnetismus, ſo iſt der Winkel NBH $= \iota$, den dieſe verlängerte Richtung mit der horizotalen macht, die magnetiſche Neigung. Es werde auch die Größe der erdmagnetiſchen Kraft durch NA $=$ M ausgedrückt, der Winkel BCN mit α bezeichnet, das Gewicht der Nadel, welches von G in der Richtung Gx abwärts ziehend gedacht wird, mit P, ferner der Abſtand des Schwerpunctes G von der Axe $=$ b, EGC $= \beta$, die halbe Nadellänge $=$ a, ſo hat man für den Stand des Gleichgewichtes, wenn CD ſenkrecht auf die verlängerte AN gezogen wird:

$$M \,.\, CD = P \,.\, CE \qquad (1).$$

Es iſt aber

$$BNC = HBN - BCN = (\iota - \alpha);$$
$$ECG = ECS - GCS = \alpha - \beta;$$
$$EGC = 90^\circ - ECG = 90^\circ - (\alpha - \beta);$$

ferner:

$$CD = CN \, sin.\, BNC = a \, sin.\, (\iota - \alpha);$$
$$EC = GC \, cos.\, ECG = b \, sin.\, (\alpha - \beta)$$

und daher aus (1) $Ma\, sin.\, (\iota - \alpha) = Pb\, sin.\, (\alpha - \beta)$. Setzt man $\frac{Pb}{Ma} = N$ und entwickelt ſowohl $sin.\, (\iota - \alpha)$, als $sin.\, (\alpha - \beta)$, ſo wird $sin\, \iota\, cos.\, \alpha - cos.\, \iota\, sin.\, \alpha = N\, (sin.\, \alpha\, cos.\, \beta - cos.\, \alpha\, sin.\, \beta)$ und hieraus

$$tang.\, \alpha = \frac{sin.\, \iota + N\, sin.\, \beta}{cos.\, \iota + N\, cos.\, \beta} \qquad (2).$$

Wendet man nun die Nadel um, ſo daß die obere Seite zur unteren wird und umgekehrt, ſo fällt ihr Schwerpunct über der Axe und der

Werth von α wird ein anderer. Man findet ihn, wenn man in (2) den Winkel β negativ nimmt. Geht da α in α' über, ſo erhält man

$$tang.\ \alpha' = \frac{sin.\ \iota + N\ sin.\ \beta}{cos.\ \iota + N\ cos.\ \beta} \quad (3).$$

Läge der Schwerpunct ſo, daß die Nadel horizontal ſtünde, wenn er ſich in einer durch die Axe gehenden Verticalebene befindet; ſo hätte man in dem Vorhergehenden Daten genug, die magnetiſche Neigung zu berechnen. Allein es hält ſchwer, ſich zu überzeugen, daß der Schwerpunct wirklich dieſe Lage hat, weil man einen Stahlſtab faſt nie ohne Magnetismus erhalten kann. Um dieſe Eigenſchaft entbehrlich zu machen, wendet man durch Streichen mit einem kräftigen Magnete die Pole der Nadel um. Macht man nun mit dem Magnete abermals zwei Beobachtungen, ſo erhält man durch dieſelben zwei neue Werthe von α. Sie ſeyen A und A'. Da bei dieſen der Schwerpunct auf die Seite des herrſchenden Poles fällt, ſo wird der Winkel β, immer nach derſelben Richtung hin gemeſſen, größer als 90°, daher ſein Coſinus negativ und man hat

$$tang.\ A = \frac{sin.\ \iota - n\ sin.\ \beta}{cos.\ \iota - n\ cos.\ \beta}\ ;\ tang.\ A' = \frac{sin.\ \iota - n\ sin.\ \beta}{cos\ \iota - n\ cos.\ \beta} \quad (4),$$

wobei n das iſt, was in 2 und 3 der Buchſtabe N bedeutet hat. Man kann nun aus (1) und (2) die Größe N, mittelſt (3) und (4) die Größe n eliminiren und ſo zwei neue Gleichungen finden, aus denen man endlich den Winkel β hinwegſchafft, wornach eine Gleichung übrig bleibt, in welcher ι durch Werthe von α ausgedrückt iſt. (Commentatio de usu accuratiori acus inclinatoriae magneticae in den Com. reg. soc. Gotting. 1814. Tom. 3. Gilb. Ann. 48. 229.)

43. Die magnetiſche Neigung kann auch durch Schwingungsverſuche ausgemittelt werden. Eine Magnetnadel, die in der Ebene des magnetiſchen Meridians oscillirt, wird durch die ganze erdmagnetiſche Kraft, eine ſolche aber, die in einer auf dem Meridian ſenkrechten Ebene oscillirt, wird bloß durch den vertical wirkenden Theil desſelben bewegt. Heißt demnach die ganze erdmagnetiſche Kraft M, die Neigung ι, ſo iſt M $sin\ \iota$ der vertical wirkende Theil derſelben. Macht die Nadel im magnetiſchen Meridian in einer beſtimmten Zeit N Schwingungen, in einer darauf ſenkrechten Ebene hingegen in derſelben Zeit n, ſo hat man

$$N^2 : n^2 = M : M\ sin.\ \iota \quad \text{und hieraus } sin.\ \iota = \frac{n^2}{N^2}.$$

Auch die Variationen der Inclination laſſen ſich mittelſt eines um eine horizontale, auf dem magnetiſchen Meridian ſenkrechte Axe leicht drehbaren Magnetſtabes beobachten, wenn dafür geſorgt wird, die geringſten Aenderungen ſeiner Stellung erſichtlich zu machen, wozu gleichfalls ein am Magnetſtabe befeſtigter Spiegel dienen kann, der das von einer entfernten Scale kommende Licht in das Fernrohr des Beobachters ſendet. Einen Apparat dieſer Art hat Kreil angegeben. Reſultate für 1839. S. 95, und: Magnetiſche und meteorologiſche Beobachtungen zu Prag rc. auf öffentliche Koſten herausgegeben von K. Kreil.

Erſter Jahrgang. Prag, 1841. S. 24, in welchem Werke man auch über die Einrichtung und den Gebrauch der andern, auf die erdmagnetiſche Kraft ſich beziehenden Meßapparate viel Lehrreiches findet.

44. Neueſtens hat man noch eine andere Methode kennen gelernt, die magnetiſche Neigung zu beſtimmen. Wird nämlich ein Stab von weichem Eiſen in verticale Stellung gebracht, ſo nimmt er durch den Einfluß des Erdmagnetismus magnetiſche Kraft an und ſein unteres Ende wird ein Nordpol, ſein oberes ein Südpol. Die Stärke dieſer Kraft hängt bei übrigens gleichen Umſtänden von der verticalen Componente des Erdmagnetismus ab und iſt dieſer proportionirt. Ein in horizontaler Richtung frei beweglicher Magnet wird aber im magnetiſchen Meridian durch eine Kraft erhalten, welche der horizontalen Componente des Erdmagnetismus proportionirt iſt. Wird ein ſolcher, deſſen Dimenſionen gegen jene des Eiſenſtabes ſehr klein ſind, demſelben in einer nicht im magnetiſchen Meridian befindlichen Ebene genähert, ſo erfolgt eine Ablenkung des Magnetes und er nimmt eine Gleichgewichtslage an, welche durch die Wirkung der horizontalen und verticalen Componente des Erdmagnetismus beſtimmt wird. Man kann demnach aus dem Ablenkungswinkel das Verhältniß dieſer zwei Kräfte und hieraus die magnetiſche Neigung beſtimmen, beſonders wenn der Magnet dem Stabe in einer auf dem magnetiſchen Meridian ſenkrechten Ebene genähert wird. Es hält aber ſchwer, einen Stab aus weichem Eiſen zu erhalten, der außer der vorübergehenden, durch den Erdmagnetismus erzeugten magnetiſchen Kraft nicht auch noch eine beſtändige beſitzt. Bezeichnet M den Erdmagnetismus und i die magnetiſche Neigung; ſo iſt $M \sin i$ der verticale und $M \cos i$ der horizontale Theil der magnetiſchen Erdkraft, ferner $K M \sin i$ der vorübergehende Magnetismus des Stabes, wobei K eine beſtändige, unbekannte Größe bedeutet. Stimmt demnach der beſtändige Magnetismus m des Stabes mit dem vorübergehenden überein, ſo iſt $K M \sin i + m$ der geſammte Magnetismus dieſes Stabes. Wird der bewegliche Magnet um den Winkel α abgelenkt, ſo iſt $\frac{K M \sin i + m}{M \cos i} = \tan \alpha$. Iſt aber der beſtändige Magnetismus dem vorübergehend durch die Lage des Stabes erzeugten entgegengeſetzt, ſo hat man $K M \sin i - m$ als Ausdruck ſeines geſammten Magnetismus, und wenn unter dieſen Umſtänden die Ablenkung α' Statt findet, ſo erhält man $\frac{K M \sin i - m}{M \cos i} = \tan \alpha'$. Durch Addition beider wird $2K \tan i = \tan \alpha + \tan \alpha'$ (1). Hieraus könnte man ſchon i finden, wenn K bekannt wäre und man hätte demnach zur Beſtimmung dieſer Größe nichts zu thun, als den Stab in verticaler Richtung und zwar einmal, wenn das eine und dann wenn das andere Ende das untere iſt, auf den beweglichen Magnet wirken zu laſſen und jedesmal die Ablenkung α und α' zu meſſen. Um nun K zu beſtimmen, braucht man nur den Stab, ohne ſeinen wirkenden Pol zu verrücken, aus der verticalen in die horizontale Lage zu bringen, und dann in dieſer Lage und

dann in der entgegengeſetzten, ſo daß derſelbe Pol abwechſelnd nach Nord und nach Süd gekehrt iſt, die von ihm bewirkte Ablenkung β und β' zu beſtimmen. Da er in dieſer Lage vom horizontalen Erdmagnetismus magnetiſirt wird, ſo iſt

$$\frac{K\,M\,\sin i + m}{M\,\sin i} = \tang \beta \quad \text{und} \quad \frac{K\,M\,\sin i - m}{M\,\sin i} = \tang \beta',$$

mithin durch Addition $2K = \tang\beta + \tang\beta'$. Wird durch dieſen Ausdruck die Gleichung (1) dividirt, ſo erhält man

$$\tang = \frac{\tang\alpha + \tang\alpha'}{\tang\beta + \tang\beta'}.$$

Man hat zur Anwendung dieſer Methode ein eigens gebautes Inſtrument. (Lloyd in Pogg. Ann. 56. 441.)

45. Von beſonderer Wichtigkeit iſt die Beſtimmung der Intenſität des Erdmagnetismus. Von dieſer wird man nur dann eine klare Vorſtellung zu haben glauben können, wenn man ihre Wirkung auf eine andere bekannte Naturkraft, z. B. die Schwere, zurückzuführen im Stande iſt. Dahin gelangt man auf folgende Weiſe: 1) Man wähle einen Magnetſtab, deſſen Trägheitsmoment ſich durch Rechnung oder durch Verſuche finden läßt und beſtimme dasſelbe. 2) Man laſſe dieſen Stab um eine verticale Axe oscilliren und finde dadurch die Dauer einer Oscillation. 3) Man beſtimme den Winkel, um den er aus dem magnetiſchen Meridian abgelenkt wird, durch einen zweiten Magnetſtab, den man in gewiſſer Entfernung von erſterem ſo aufgeſtellt hat, daß ſeine Längenaxe auf dem magnetiſchen Meridian ſenkrecht ſteht und die Axe des erſteren halbirt. Die ſo gefundenen drei Größen führen zur Kenntniß des horizontalen Erdmagnetismus. Dieſer durch den Coſinus der Inclination dividirt, gibt die Intenſität des ganzen Magnetismus der Erde am Beobachtungsorte. Wie die Rechnung geführt werden muß, lehrt Nachſtehendes.

46. Die Schwingungsdauer t einer um eine verticale Axe unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus oscillirenden Nadel iſt (nach 22) $t = \pi\sqrt{\frac{K}{TM}}$, wo K das Trägheitsmoment, T das Drehungsmoment des horizontalen Erdmagnetismus und M das magnetiſche Moment des Magnetſtabes, π aber das bekannte Kreisverhältniß bezeichnet. Man findet daraus

$$MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}. \qquad (1)$$

Um nun für MT einen numeriſchen Ausdruck zu erhalten, muß nebſt π und t^2 auch K bekannt ſeyn. Hat der Stab eine vollkommen parallelepipediſche Geſtalt und eine gleichförmige Dichte, ſo findet man K durch Rechnung, denn es iſt $K = \frac{1}{12}(A^2 + B^2)\,Q$, wenn A ſeine Länge, B ſeine Breite und Q ſeine Maſſe bedeutet. Will man dem Reſultate der Rechnung wegen Ungenauigkeit der Daten nicht volles Zutrauen ſchenken, ſo muß man zur Beſtimmung von K beſondere Verſuche anſtellen, deren Angabe hier zu weit führen würde.

Zur weiteren Fortführung der Rechnung über die Größe des Erdmagnetismus dient nun die Kenntniß des Ablenkungswinkels ν, welchen der fixe Stab in der Entfernung a an dem beweglichen hervorbringt. Man hat nach (29) $tang\ \nu = \frac{2M}{Ta^3}$ oder

$$\frac{M}{T} = \tfrac{1}{2} a^3\ tang\ \nu. \qquad (2)$$

Aus (1) und (2) erhält man durch Multiplication beider Gleichungen unter ſich

$$M^2 = \frac{\pi^2 K a^3\ tang\ \nu}{2t^2} \text{ und } M = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K a^3\ tang\ \nu}{2}}, \qquad (3)$$

dann durch Diviſion einer Gleichung durch die andere

$$T^2 = \frac{2\pi^2 K}{a^3 t^2\ tang\ \nu} \text{ und } T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{2K}{a^3\ tang\ \nu}}. \qquad (4)$$

M gibt den Magnetismus des oscillirenden Stabes an und es liegt dieſer Angabe der Magnetismus desjenigen Magnetes als Einheit zum Grunde, welcher einem andern von eben ſo großem Magnetismus in der Entfernung = 1 ein Drehungsmoment ertheilt, das dem Drucke der Gewichtseinheit in dem Orte, wo die Schwere ſelbſt = 1 iſt, an einem Hebelarme von der Länge = 1 gleich kommt. Nach derſelben Einheit iſt T gemeſſen.

Es dürfte nicht unangemeſſen ſeyn, eine ſolche Rechnung numeriſch durchzuführen, wie ſie Weber wirklich angeſtellt hat: Dieſer Gelehrte ließ einen Magnetſtab von 101 Millimeter Länge, 17.5 Millim. Breite und 142 Milligramme Gewicht unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus oscilliren und fand die Dauer einer Schwingung = 6.67 Secunden. Nach der vorhin angegebenen Einheit iſt ſein Trägheitsmoment $K = \frac{101^2 + 17.5^2}{12} . 142000 = 124335791.66$. Dieſer Stab ſetzt alſo einer beſchleunigenden Kraft, die ihn um ſeine verticale Axe zu drehen ſucht, einen eben ſo großen Widerſtand entgegen, wie eine träge Maſſe, die an dem Orte, wo die Acceleration der Schwere g = 1 iſt, das Gewicht von 1243357191.66 Milligramme hat und 1 Millim. von der Axe angebracht iſt. Man hat demnach

$$MT = \frac{3.14^2 \times 124335791.66}{6.67^2} = 27582345.$$

Für $a^3\ tang\ \nu$ hat Weber die Zahl 883500 gefunden. Dieſe mit dem ſo eben gefundenen Werthe von M T verbunden gibt T = 1.774.

47. Um die in kleinen Zeitabſchnitten vor ſich gehenden Variationen der horizontalen Intenſität erſichtlich zu machen, dient eine beſondere Aufhängungsart eines Magnetſtabes, mittelſt welcher man denſelben aus der Ebene des magnetiſchen Meridians herauszugehen und ſich ſenkrecht gegen dieſe Ebene zu ſtellen nöthiget. Es wird nämlich der Magnet an zwei Stellen an lange Fäden aufgehängt. Wäre der Stab nicht magnetiſch, ſo würden ſich die Fäden ſo richten, daß ſie eine parallele Lage bekommen; in jeder andern äußern ſie eine Kraft ähnlich der Torſion, die ſie in die parallele Lage zurückzuführen ſtrebt. Je weiter die Befeſtigungspuncte der Fäden von einander abſtehen,

deſto größer iſt dieſe Kraft bei einerlei Ablenkungswinkel des Stabes. Aendert man die Stellen, an welchen die Fäden am Magnet befeſtiget ſind, ſo ändert ſich auch das Beſtreben des Magnetes, mittelſt der Torſion der Fäden eine beſtimmte Stellung anzunehmen und man hat es in ſeiner Gewalt, ihm jede Lage gegen den magnetiſchen Meridian anzuweiſen. In der ſenkrechten Poſition gegen den magnetiſchen Meridian wird er von einer Aenderung der Declination ganz unmerklich, dafür aber von der geringſten Aenderung der horizontalen Intenſität ſehr merklich afficirt. Zur Wahrnehmung der Aenderungen der Lage des Stabes dient ein auf demſelben (in der Mitte) angebrachter Spiegel, in welchem man eine entfernte Scale durch ein Fernrohr betrachtet. Dieſer Apparat heißt das Bifilar-Magnetometer zum Unterſchiede von dem vorhin beſchriebenen, welches nunmehr das Unifilar-Magnetometer genannt wird. (Reſultate für 1837. S. 1. und 20.)

48. Die Aenderungen, welchen die Richtung und Größe der erdmagnetiſchen Kraft und daher auch die Beſtimmungsſtücke derſelben unterliegen, kann man in regelmäßige und unregelmäßige eintheilen. Die erſteren, welche einem Geſetze unterliegen, mithin, wenn dieſes durch Beobachtungen feſtgeſtellt worden iſt, ſich vorherſagen laſſen, zerfallen wieder in ſeculäre, die erſt nach einer langen Zeit in die Augen fallen, wenn gleich ſie endlich ſehr beträchtlich werden, und in periodiſche, welche innerhalb gewiſſer Grenzen in beſtimmten Zeitabſchnitten hin und her ſchwanken. Dieſe letzteren zeigen einen auffallenden Zuſammenhang mit der Stellung der Sonne und des Mondes gegen die Erde, weßwegen man eine tägliche und eine jährliche Periode der Aenderungen des Erdmagnetismus in Betrachtung ziehen kann. Die ſo eben erwähnten regelmäßigen Variationen erſcheinen aber nicht fortwährend in ihrer Reinheit, ſondern es treten häufig kleine, manchmal aber auch ſehr bedeutende Abweichungen von der Regel ein. Man nennt ſie unregelmäßige Variationen oder Störungen der erdmagnetiſchen Kraft.

49. Da unter den Beſtimmungsſtücken der erdmagnetiſchen Kraft die Abweichung der Magnetnadel die wenigſten Schwierigkeiten darbietet, ſo ſind auch die Aenderungen derſelben beſſer bekannt, als jene der Neigung, für welche man nur dürftige Daten beſitzt; die Intenſität des Erdmagnetismus wurde in dieſer Beziehung bis zur neueſten Zeit faſt gar nicht unterſucht.

Die erſten Wahrnehmungen einer Aenderung der Abweichung fallen in das ſechzehnte Jahrhundert, doch hat man erſt in der erſten Hälfte des ſiebzehnten das Vorhandenſeyn derſelben mit Beſtimmtheit erkannt In Europa war die Abweichung des Nordpoles der Magnetnadel vom aſtronomiſchen Meridian im ſechzehnten Jahrhundert öſtlich; die Nadel näherte ſich von da an fortwährend der Mittagslinie, und die Abweichung ging ſodann in eine weſtliche über, die bis zu einem Maximum zunahm, hierauf aber wieder abzunehmen anfing und noch gegenwärtig in dieſer Richtung ſich zu bewegen fortfährt. Es

iſt daher mit Grund zu erwarten, der magnetiſche Meridian werde mit dem aſtronomiſchen wieder zuſammenfallen, wie dieſes im Jahre 1663 in Paris der Fall war. Hierauf wird die Abweichung des Nordpoles der Nadel eine öſtliche werden, ſo daß der magnetiſche Meridian zu beiden Seiten des aſtronomiſchen Schwingungen von ſehr großer Dauer macht. Ueber den Gang der magnetiſchen Neigung weiß man nur ſo viel, daß dieſe gegenwärtig in Europa abnimmt und gegen das Ende dieſes Jahrhunderts ihren kleinſten Werth erreichen dürfte.

Als Belege des Geſagten mögen nachſtehende Zahlenangaben dienen: Der mittlere Werth der magnetiſchen Declination in Paris war im Jahre 1580: 11° 30′ öſtlich. im J. 1610: 8°, im J. 1663: 0°. Im J. 1700 betrug die Abweichung ſchon 8° 10′ weſtlich, im J. 1780: 19° 55′, im J. 1814: 22° 34′, womit ſie ihr Maximum erreichte; von da an wandte ſich die Magnetnadel wieder in einem langſamen Gange gegen Oſten und im J. 1835 war die weſtliche Abweichung auf 22° 4′ geſunken. Nach **Hanſteen** betrug die jährliche Abnahme um das Jahr 1780 : 5′—6′; im J. 1830 aber nur 3′.

50. Daß die Abweichung der Magnetnadel einer täglichen Aenderung unterliege, weiß man ſeit 1683; daß ſie aber ihren Stand ſogar von Stunde zu Stunde ändere, hat zuerſt **Graham**, Mechaniker zu London, im Jahre 1722 entdeckt. Seitdem, beſonders in neuerer Zeit, iſt der Gang der **täglichen Declinations-Variationen** vielfach unterſucht worden, und man hat ihre Geſetze und ihre **jährliche** Periode mit Beſtimmtheit erkannt. Der Erfahrung gemäß bewegt ſich der Nordpol einer empfindlichen Magnetnadel den Tag über ein oder mehrere Male von ſeinem öſtlichſten Stande (für unſere Gegenden, wo die Abweichung eine weſtliche iſt) dem **Minimum der Declination**, zu ſeinem weſtlichſten, dem Declinationsmaximum. Die Maxima und Minima befolgen hinſichtlich der Zeit ihres Eintrittes und der Größe der dazwiſchen liegenden Oscillation feſte Regeln. Im Sommer gibt es in der Regel nur **ein** Maximum und **ein** Minimum, und zwar ſtellt ſich das Maximum bald nach Mittag, das Minimum zwiſchen 6—9 Uhr früh ein; beide Wendungspuncte rücken im Winter dem Mittag näher. Im Winter gibt es an einigen Orten auch noch ein zweites Maximum und Minimum und zwar tritt erſteres bald nach Mitternacht, letzteres in den ſpäten Abendſtunden ein Die Größe des Schwingungsbogens ändert ſich mit der Jahreszeit und iſt im Sommer viel größer als im Winter und wie es ſcheint auch an Orten von größerer Breite größer als in den dem Erdäquator näher gelegenen, und in Binnenländern größer als in Inſeln. Man ſieht überhaupt, daß dieſe Variationen mit dem Gange der Wärme in Verbindung ſtehen und deſto größer ſeyen, je größer der Wechſel der Temperatur iſt. Nahe am Pol haben **Lottin** und **Bravais** die Variationen der Abweichung zur Zeit, wo die Sonne unter dem Horizont ſtand, viel kleiner gefunden, als nachdem die Sonne wieder aufgegangen war.

Zur Erläuterung des Vorhergehenden ſollen hier die Ergebniſſe der vollſtändigſten bis jetzt durchgeführten Beobachtungsreihe mitgetheilt wer-

den, nämlich jener, welche Kreil zu Prag angeſtellt hat, wo an einem ſehr genauen Apparate mit wenigen Ausnahmen die Abweichungsnadel ſtündlich beobachtet wurde. Dieſe Beobachtungsreihe beſtätiget nicht nur ſchon früher bekannte Thatſachen, ſondern ertheilt auch über manches vordem nur unvollkommen Wahrgenommene beſtimmte Aufklärung. Folgende Sätze können als gehörig begründet angeſehen werden: 1) Man muß die Variationen der Declination in den Wintermonaten von jenen der Sommermonate unterſcheiden. In den erſteren ergeben ſich zwei Maxima und Minima, in den letzteren aber nur ein Maximum und ein Minimum. 2) Durch das ganze Jahr hindurch zeigt ſich um 1 Uhr Nachmittag ein Maximum der Declination, und dieſes iſt, wenn ein zweites tägliches Maximum Statt hat, das größere. Der Nordpol der Nadel hat alſo um 1 Uhr den weſtlichſten Stand und bewegt ſich von da an gegen Oſten. 3) Das zu dieſem Maximum gehörige Minimum tritt im Sommer um 6 Uhr, im Winter zwiſchen 8 und 9 Uhr Morgens ein. 4) Das zweite Maximum, welches im Winter eintritt, hat bald nach Mitternacht, das dazu gehörige Minimum in den ſpäteren Abendſtunden Statt. 5) Die Größe der Oscillation iſt im Sommer nahe dreimal ſo groß als im Winter. 6) Um 10 Uhr Vormittags und von 6—8 Uhr Abends entfernt ſich die Declination ſehr wenig von dem für dieſe Stunde geltenden Jahresmittel. 7) Die von Kreil früher zu Mailand gemachte Bemerkung, daß die Declination nicht bloß vom Sonnen-, ſondern auch vom Mondesſtande abhänge, wird durch die Prager Beobachtungen beſtätiget. Dieſem gemäß herrſcht auf der Mondeshälfte, welche der Erde zugekehrt iſt, der Nordmagnetismus vor, ſo daß der Südpol einer Magnetnadel vom Monde angezogen wird. Die Declination iſt alſo größer, wenn der Mond öſtlich vom magnetiſchen Meridian ſteht, als wenn er ſich weſtlich davon befindet. (S. das oben angeführte Werk: Magnetiſche und meteorologiſche Beobachtungen zu Prag ꝛc. S. 59. Aimé in Compte rendu 17. 1031.)

51. In Betreff der periodiſchen Variationen der Inclination iſt bisher nur von Kreil eine über einen größeren Zeitraum ſich erſtreckende Reihe von Beobachtungen unternommen worden, bei der die Zeitintervalle zwiſchen je zweien dennoch von ſolcher Kleinheit ſind, daß daraus der Gang dieſer Variationen während eines Tages mit Sicherheit entnommen werden kann.

Die ſtündlichen Inclinationsbeobachtungen, welche zu Prag angeſtellt worden, lehren, daß die Inclination in der Regel täglich zu einem dreifachen Maximum und einem eben ſo vielfachen Minimum gelange. Es erreicht die Inclination ihr erſtes Maximum im Sommer zwiſchen 8 und 9 Uhr, im Winter zwiſchen 10 und 11 Uhr Vormittags; um Mittag tritt das erſte Minimum ein; das zweite Maximum findet durch das ganze Jahr um 3 Uhr Nachmittag, das zweite Minimum in den ſpäteren Abendſtunden Statt; um oder nach Mitternacht tritt das dritte Maximum ein, das in manchen Monaten die beiden andern überſteigt, und hierauf in den Morgenſtunden das dritte Minimum. (S. Beobachtungen zu Prag. S. 78.)

52. Ueber die periodiſchen Variationen, ſowohl der horizontalen Intenſität, als auch der magnetiſchen Totalkraft hat man nur für wenige Orte genaue Beobachtungen. Im Allgemeinen iſt erwieſen, daß dieſe Variationen viel weniger regelmäßig ſeyen als jene der Abweichung; doch hat man ein tägliches Maximum und Mi-

nimum außer Zweifel geſetzt. Die Wendeſtunden liegen auch hier in den kürzeren Wintertagen näher am Mittag als in den längeren Sommertagen.

Kreil hat auch hierüber eine belehrende Reihe von Beobachtungen bekannt gemacht. Dreijährige Beobachtungen über den erſten Gegenſtand zu Mailand und dann die Beobachtungen zu Prag über beide lehren Folgendes: Die horizontale Componente der erdmagnetiſchen Kraft zeigt eine tägliche Variation mit einem Minimum und einem Maximum. Erſteres tritt im Sommer um 10 Uhr Vormittags, letzteres um 8 Uhr Abends ein; im Winter erfolgen dieſe Extreme etwas ſpäter Die Intenſität der Totalkraft gelangt in den erſten Morgenſtunden zu einem Maximum, Nachmittag zu einem Minimum, worauf Abends um 8 Uhr ein zweites Maximum zu folgen ſcheint. Doch bedarf der letztere Punct noch fernerer Unterſuchung. An dem Gange der Variationen der horizontalen Intenſität läßt ſich auch der Einfluß des Mondes deutlich erkennen.

Ueber die periodiſchen Variationen der Declination, Inclination, Intenſität an weit entlegenen Orten und insbeſondere auf der ſüdlichen Halbkugel läßt ſich aus Mangel zureichender Beobachtungen im gegenwärtigen Augenblicke nur wenig Verläßliches ſagen. Man nimmt an, daß die täglichen Bewegungen der Magnetnadel auf der ſüdlichen Hemiſphäre jenen auf der nördlichen entgegengeſetzt ſeyen. Im Allgemeinen wachſen die Variationen gegen die Pole hin, und zeigen ſich am Aequator am geringſten. Es läßt ſich mit Grund erwarten, daß die Ergebniſſe der engliſchen Expeditionen binnen wenigen Jahren über dieſen Gegenſtand vielfache Aufſchlüſſe ertheilen werden.

53. Die im Vorhergehenden betrachteten regelmäßigen Aenderungen der Beſtimmungsſtücke der erdmagnetiſchen Kraft ſind häufig mit Störungen verknüpft, welche, wenn die Beobachtungen ſich nicht über einen größeren Zeitraum erſtrecken, erſtere Variationen ganz unkenntlich machen können. Derlei Störungen mögen zum Theil wohl localen Urſachen zuzuſchreiben ſeyn, allein die von Gauß zuerſt ins Werk geſetzten Beobachtungen mit dem Unifilar- und Bifilarmagnetometer geben zu erkennen, daß den meiſten Störungen Urſachen zum Grunde liegen, die einen großen Theil der Erdfläche afficiren. Stellt man die Variationen der Declination graphiſch dar, indem man die Zeit als Abſciſſe, die Aenderung der Declination als Ordinate einer krummen Linie betrachtet, ſo ſtimmen die Curven, welche eine Reihe gleichzeitiger in kleinen Zeitintervallen gemachten Beobachtungen an entfernten Orten, als Göttingen und Mailand darlegen, nicht bloß der Hauptform nach auf eine überraſchende Weiſe mit einander überein, ſondern ſelbſt kleine Biegungen der einen Curve laſſen ſich in der andern wieder erkennen. Ein Gleiches gilt von den Variationen der horizontalen Intenſität.

Die erſte Wahrnehmung der wunderbaren Harmonie der Declinationsbeobachtungen wurde im Jahre 1834 an den Reſultaten von Beobachtungen gemacht, welche zu Göttingen und auf Verabredung gleichzeitig an andern Orten in Deutſchland mit Gauß'ſchen Apparaten angeſtellt wurden, und bei welchen die Zeitintervalle, welche die einzel-

nen Aufzeichnungen des Standes der Nadel trennten, möglichſt klein waren. Seitdem wird an vielen Orten zu beſtimmten Zeiten (Terminen), gegenwärtig viermal im Jahre, durch 24 Stunden von 5 zu 5 Minuten ſowohl der Gang der Declination, wie auch jener der horizontalen Intenſität beobachtet. Die Termine endigen am letzten Sonnabend der Monate Februar, Mai, Auguſt, November Abends 10 Uhr nach mittlerer Göttinger Zeit. Auf dieſe Art beſteht gleichſam ein magnetiſcher Verein, deſſen Centralpunct Göttingen iſt. Da dieſelben Termine auch von den Beobachtern eingehalten werden, welche die großbrittanniſche Regierung an verſchiedene Puncte der Erde zu umfaſſenden, während der Jahre 1840, 1841, 1842 anzuſtellenden magnetiſchen Beobachtungen ausgeſendet hat, und eine bedeutende Anzahl europäiſcher Gelehrten die übrigen den engliſchen Beobachtern vorgezeichneten Termine einhält, ſo wird die Kenntniß der Geſetze des Erdmagnetismus bald bedeutend vervollkommt werden.

Die Gleichzeitigkeit magnetiſcher Störungen mit Nordlichtern, Erdbeben ꝛc. läßt auf den Zuſammenhang dieſer Erſcheinungen ſchließen. Sehr beachtenswerth iſt die von Kreil gemachte Wahrnehmung, daß bedeutende Störungen an denſelben Jahrestagen wiederkehren.

54. Der Inbegriff der Beſtimmungsſtücke der Richtung und Größe der erdmagnetiſchen Kraft an allen Puncten der Erdfläche in irgend einem Zeitpuncte charakteriſirt den magnetiſchen Zuſtand unſeres Erdkörpers in dieſem Zeitpuncte. Wenn es ſich darum handelt, ein vollkommen richtiges Bild des genannten Zuſtandes zu geben, müſſen die erwähnten Beſtimmungsſtücke von den an ihnen in Folge der periodiſchen Variationen und der Störungen haftenden Anomalien befreit, d. h. ſie müſſen auf ihre mittleren Werthe reducirt ſeyn. Man iſt gewohnt, um der Darſtellung der magnetiſchen Kraftäußerung der Erde eine faßliche Form zu verleihen, jedes Beſtimmungsſtück der magnetiſchen Kraft abgeſondert zu betrachten und dabei ſo vorzugehen, daß man auf einer Abbildung (Karte) entweder der ganzen Erdfläche, oder eines Theiles derſelben ein Syſtem krummer Linien verzeichnet, für deren jede einzelne in allen ihren Puncten dieſes Beſtimmungsſtück conſtant iſt, d. h. durchgehends denſelben Werth hat, während dieſer Werth bei dem Uebergange von einer Curve zur nächſten ſich ſtufenweiſe ändert. Eine Linie auf der Erdfläche, in deren Puncten einerlei Declination Statt findet, heißt eine iſogoniſche; eine Linie gleicher Inclination wird eine iſocliniſche, eine Linie gleicher Intenſität der erdmagnetiſchen Kraft eine iſodynamiſche genannt. Für die Declination beſitzt man ſeit längerer Zeit Karten, auf welchen die iſogoniſchen Linien, ſo gut es nach den vorhandenen Daten der Beobachtung möglich war, verzeichnet ſind. Die erſte ſolche Karte gab Halley für das Jahr 1700. Die Vergleichung derſelben mit den in der Folge von Hanſteen für 1800 und Barlow für 1830 gegebenen, läßt den bedeutenden Einfluß der ſeculären Aenderung des Erdmagnetismus auf die Anordnung der iſogoniſchen Linien deutlich erkennen. Um die Conſtruction der Inclinationskarten haben ſich vornehmlich Hanſteen und Horner verdient gemacht. Eine Intenſitätskarte wurde von Sabine conſtruirt. Die Beobachtungen laſ-

ſen ſchließen, daß es auf der Erdfläche einzelne Puncte gebe, in welchen die Inclination 90° beträgt, d. h. die horizontale Intenſität verſchwindet, mithin die Axe eines in ſeinem Schwerpuncte aufgehängten Magnetes vertical ſteht. Man nennt ſolche Puncte magnetiſche Erdpole. Die Linie, welche die Orte, wo die Neigung = 0 iſt, verbindet, heißt der magnetiſche Erdäquator.

55. Da die bloße empiriſche Zuſammenſtellung der Daten der Beobachtung nicht genügen kann, ſo ſucht man den magnetiſchen Zuſtand der Erde auf einen allgemeinen Ausdruck und mit deſſen Hülfe auf Formeln zurückzuführen, welche, nachdem man gewiſſen Beſtimmungsſtücken derſelben ihre Werthe angewieſen hat, die Richtung und Größe der erdmagnetiſchen Kraft für jeden Ort mit hinreichender Näherung darſtellen. Zu dieſem Zwecke bemühte man ſich, eine fingirte Vertheilung des Magnetismus im Innern der Erde zu erſinnen, die der wirklich vorhandenen dem Effecte nach äquivalent wäre. So ſuchte T. Mayer den magnetiſchen Zuſtand der Erde durch die Annahme eines, Hanſteen durch die Annahme zweier ſehr kleinen Magnete im Innern der Erde darzuſtellen, anderer ähnlicher Verſuche nicht zu denken. Allen dieſen Beſtrebungen hat die neueſtens von Gauß entwickelte Theorie des Erdmagnetismus (Reſultate d. magn. Vert. für 1838. S. 1) ein Ende gemacht. Es laſſen ſich nämlich aus der bloßen Annahme der Scheidung der magnetiſchen Kräfte in den Theilchen der Erde Geſetze ableiten, welchen die wie immer gewählten Beſtimmungsſtücke der erdmagnetiſchen Kraft für jeden Ort der Erdfläche (im Allgemeinen für jeden Punct des äußeren Raumes) Genüge leiſten müſſen. Dieſe Geſetze führen mit Zuhülfnahme von Beobachtungen zur Kenntniß der Componenten der erdmagnetiſchen Kraft an verſchiedenen Stellen der Erde. Gauß hat ſie berechnet und zugleich die Conſtruction von Karten veranlaßt, welche den magnetiſchen Zuſtand der Erde, wie er dem Jahre 1830 entſpricht, mit großer Annäherung an die Wahrheit vor Augen legen (Atlas des Erdmagnetismus; von C. Fr. Gauß und W. Weber. Leipzig, 1840). Folgendes enthält die wichtigſten Reſultate dieſer Unterſuchungen: Es gibt auf der Erde nur zwei magnetiſche Pole, d. h. Puncte, wo die horizontale Intenſität gleich Null iſt. Der eine liegt im Norden von Amerika, der andere im Süden von Van-Diemensland. Die gerade Linie, welche dieſe Puncte mit einander verbindet, iſt ganz ohne Bedeutung, und es wäre unpaſſend, dieſelbe mit dem Namen magnetiſche Axe zu belegen, da auf dieſe Benennung bloß eine Gerade Anſpruch machen kann, hinſichtlich welcher das magnetiſche Moment der Erde ein Maximum iſt, eine Eigenſchaft, die an keine fixe Linie gebunden iſt. Die Verbindungslinie der magnetiſchen Erdpole weicht von dieſer Richtung etwas ab. Gauß findet das magnetiſche Moment der Erde 8464 trillionenmal größer, als das Moment eines einpfündigen, bei ſeinen Verſuchen gebrauchten Magnetſtabes, woraus er den Schluß zieht, daß 8464 Trillionen ſolcher Stäbe mit parallelen magnetiſchen Axen erforderlich wären, um die magnetiſche Wirkung

der Erde im äußeren Raume zu erſetzen, was bei einer gleichförmigen Vertheilung durch den ganzen körperlichen Raum der Erde beinahe acht Stäbe (genauer 7.831) auf jeden Kubikmeter beträgt, ſo daß durchſchnittlich jedem Achtel eines Kubikmeter der Erde eine eben ſo ſtarke Magnetiſirung zukommt, als die jenes einpfündigen Magnetſtabes. Mit den magnetiſchen Polen der Erde ſind die Puncte nicht zu verwechſeln, wo die Wirkung des Erdmagnetismus einen Maximum-Werth hat, daher größer iſt, als in jedem Puncte der Umgebung. Puncte der letztern Art gibt es auf der Erdfläche drei, deren einer in die Nachbarſchaft des nördlichen magnetiſchen Poles in Nordamerika, der zweite in die Gegend von Sibirien, wo Hanſteen einen zweiten Pol vermuthete, der dritte ſüdlich von Van-Diemensland in die Nähe des ſüdlichen Erdpoles fällt. Die Werthe der Intenſität des Magnetismus in dieſen drei Puncten ſind 6.1614, 5.9113, 7.8982. Außer dieſen gibt es zwei Puncte der kleinſten magnetiſchen Intenſität. Sie liegen in der Nähe des Aequators, der eine nordöſtlich von Neuholland, der andere in der Nähe von St. Helena, und es entſprechen denſelben die Intenſitäten 3.2481 und 2.8281; letztere iſt alſo die kleinſte Intenſität, welche auf der Erde vorkommt. Denkt man ſich eine der magnetiſchen Wirkung der Erde äquivalente Vertheilung von Magnetismus auf ihrer Oberfläche, ſo wird der Magnetismus an drei Stellen, nahe bei jenen, wo die Intenſität einen Maximumwerth beſitzt, am meiſten angehäuft ſeyn. Linien ohne Abweichung (in deren Puncten die Magnetnadel die Lage der Mittagslinie hat) gibt es auf der Erdfläche zwei; eine größere, die durch die magnetiſchen Erdpole geht und die Erde einem Meridian ähnlich umzieht. Sie durchſchneidet den öſtlichen Theil von Nord- und Südamerika, dann Neuholland, Arabien, Perſien, Rußland; eine kleinere Linie ohne Abweichung bildet ein Oval und läuft durch Oſtſibirien, China und das angrenzende Meer. Die größere Linie ohne Abweichung zerfällt in vier Partien, in den Puncten zweier Partien zeigt der Nordpol der Magnetnadel nach Norden, und in den Puncten der beiden andern findet das Umgekehrte Statt. In der kleineren Linie ohne Abweichung zeigt der Nordpol der Magnetnadel überall nach Norden. Diesſeits und jenſeits einer Linie ohne Abweichung hat die Declination das entgegengeſetzte Zeichen. In zwei getrennten Theilen der Erdfläche iſt die Declination weſtlich; der größere Theil wird von der erſten, der kleinere von der zweiten der ſo eben beſchriebenen Linien ohne Abweichung umgrenzt. Zwiſchen beiden Linien liegt der Theil der Erdfläche, dem eine öſtliche Declination der Magnetnadel entſpricht. Die Linie verſchwindender Inclination (der magnetiſche Aequator) ſcheidet die Erdfläche in zwei Theile, in deren einem der Nordpol, im andern der Südpol der Nadel ſich abwärts ſenkt. Der magnetiſche Aequator durchkreuzt den aſtronomiſchen Aequator der Erde in zwei einander faſt diametral gegenüber liegenden Puncten; allein er weicht bedeutend von der Kreisform ab.

Außer den Linien gleicher Declination, Inclination und Intenſität können noch andere Curven auf der Erdfläche, und in gewiſſer Hinſicht der Theorie des Erdmagnetismus mehr zuſagende betrachtet werden, nämlich die Linien gleicher verticaler Intenſität, dann die Linien der nördlichen und weſtlichen Componente der horizontalen Intenſität, endlich die Gleichgewichtslinien, d. h. jene Curven, welche die Richtung der Magnetnadel überall ſenkrecht durchſchneiden. In Betreff dieſer Curven, ſo wie auch wegen des näheren Details der oben angeführten Ergebniſſe der Theorie müſſen wir auf den bereits erwähnten Gauß'ſchen Atlas des Erdmagnetismus verweiſen. Handwörterbuch der Chemie und Phyſik. Artikel: Erdmagnetismus.

Ueber Magnetismus überhaupt ſiehe: Hanſteen's Unterſuchungen über den Magnetismus der Erde. Chriſtiania 1819.

Traité exp. de l'électricité et de magnétisme, par *M. Becquerel.* Paris 1834—1840.

A manual of electricity, magnetisme, and meteorology; by *D. Lardner* et *Walker.* London 1841—1844.

An essay on magnetic attraction by. *P. Barlow.* Lond. 1823.

Osservazioni sull' intensità et sulla direzione della Forza magnetica istitute negli anni 1836, 1837, 1838, all' c. r. osservatorio di Milano da *C. Kreil* e *P.* della *Vedova.* Milano 1839.

Magnetiſche und meteorologiſche Beobachtungen zu Prag, von C. Kreil. Jahrgang 1–4. Prag 1841–1844.

Zweiter Abſchnitt.

Elektricität.

Erſtes Kapitel.

Erſcheinungen der Elektricität überhaupt.

56. Im vorhergehenden Abſchnitte iſt eine Eigenſchaft der Körper betrachtet worden, die denſelben nicht im Allgemeinen zukommt, ihnen mitgetheilt und wieder davon getrennt werden kann und deren allgemeinſter Charakter in einer in die Ferne wirkenden Anziehung und Abſtoßung beſteht. Dieſer Eigenſchaft ähnlich iſt jene, welche wir nun kennen lernen wollen und die man Elektricität nennt, weil man ſie zuerſt im Bernſtein bemerkt hat, der im Grichiſchen den Namen Electrum (ελεκτρον) führt, die aber heut zu Tage als eine unter gewiſſen Umſtänden allen Körpern zukommende Eigenſchaft anerkannt werden muß. Sie iſt ſo wie der Magnetismus das Ergebniß eines eigenthümlichen Zuſtandes der Körpertheile.

57. Wenn man ein Stückchen Bernſtein oder eine Stange von Glas oder Siegellack mit einem wollenen Lappen reibt, und es dann feinen Papierſchnitzchen, kleinen Kork- oder Hollundermarkkügelchen ꝛc. nähert; ſo werden ſelbe ſchon von ferne angezogen und nachdem ſie mit dem geriebenen Körper in Berührung gekommen ſind, wieder abgeſtoßen. Liegen dieſe leichten Körperchen auf einem Tiſche ſo daß ſie, nachdem ſie die Abſtoßung erlitten haben, wieder auf denſelben zurückkehren, ſo werden ſie abermals angezogen, hierauf wieder abgeſtoßen, und es entſteht ſomit ein oftmaliges Hin- und Herhüpfen vom Tiſche zum geriebenen Körper und umgekehrt. Noch deutlicher tritt dieſes hervor, wenn man die geriebene Stange einem an einem Seidenfaden hängenden Hollundermarkkügelchen nähert. Da wird das Kügelchen zuerſt angezogen und gleich darauf abgeſtoßen und in dieſem Zuſtande ſcheint es die geriebene Stange, wenn man ſie ihm nähert, gleichſam zu fliehen, bis man es mit der Hand berührt hat. Sobald aber letzteres geſchehen iſt, verhält es ſich wieder wie im natürlichen Zuſtande und wird wieder angezogen u. ſ. f. Hält man die Hand ſo, daß das abgeſtoßene Kügelchen damit in Berührung kommen muß, ſo erfolgt ein

förmliches Oscilliren des Kügelchens zwiſchen der Hand und dem geriebenen Körper. Man ſieht leicht, daß dieſe Anziehung von der zwiſchen Eiſen und einem Magnete Statt findenden weſentlich verſchieden ſey, indem hier nach der Anziehung Abſtoßung folgt, während dort die Anziehung ſelbſt nach der gegenſeitigen Berührung zwiſchen Magnet und Eiſen fortdauert. Der Bernſtein, die Glas- oder Siegellackſtange ꝛc. heißt in dem ſo eben beſprochenen Zuſtande elektriſirt und man ſieht das Reiben als den Act an, wodurch ſie in dieſen Zuſtand verſetzt worden ſind. Anziehung und Abſtoßung ſind zwar die immer vorhandenen Erſcheinungen dieſes Zuſtandes, aber nicht die einzigen Aeußerungen deſſelben. Iſt die Stange hinreichend maſſiv, ſo zeigt ſich bei kräftiger Reibung im Finſtern ein Lichtſchein, und wenn man an der Stange mit dem Finger herabfährt, hell leuchtende Funken kniſternd hervorbrechen; nach längerem Reiben entwickelt ſich ein eigenthümlicher, dem des brennenden Phosphors ähnlicher Geruch und die dem Geſichte genäherte Stange verurſacht durch ihre Einwirkung auf die feinen Härchen an der Haut eine Empfindung, als wäre man in ein Spinngewebe gerathen.

58. Reibung iſt zwar ein ſehr ergiebiges Mittel, um Elektricität zu erregen, aber bei weitem nicht das einzige. Es können auch Druck, Trennung der Körpertheile, Formänderung, bloße Berührung heterogener Stoffe, Temperaturänderung, chemiſche Wirkungen, Magnetismus, die Lebenskraft und wahrſcheinlich noch viele andere, die kleinſten Körpertheile afficirende Aenderungen, Quellen der Elektricität werden. Erſcheint der wie immer erregte elektriſche Zuſtand an gewiſſe Stellen eines Körpers gebunden, ſo betrachtet man ihn als einen Zuſtand des Gleichgewichtes und bezeichnet ihn mit dem Worte elektriſche Spannung; iſt aber dieſer Zuſtand im Momente der Fortpflanzung von einem Theilchen zu anderen begriffen, ſo muß er als Zuſtand der Bewegung gedacht werden und man nennt ihn dann elektriſchen Strom. Dieſen wichtigen Unterſchied muß man ſich gleich bei den erſten Theilen in der Elektricitätslehre gegenwärtig halten, wenn auch erſt die Folge darüber nähere Aufklärung geben kann.

59. Berührt man mit einem durch Reibung oder ein durch was immer für ein anderes Mittel elektriſirten Körper einen andern, der ſich im natürlichen Zuſtande befindet; ſo nimmt er von jenem mehr oder weniger Elektricität an und das, was letzterer erhalten hat, iſt erſterem entzogen. Man ſagt darum, es ſey jenem Körper Elektricität mitgetheilt worden. Bei dieſer Mittheilung verhalten ſich aber die Körper auf von einander ſehr verſchiedene Weiſen. Berührt man mit einem elektriſchen Körper ein Stück Glas, Harz, Seide ꝛc. ſo wird es nur an der Berührungsſtelle elektriſch und der berührende Körper hat dadurch auch nur einen ſehr geringen, oft kaum merklichen Verluſt an Elektricität erlitten. Solche Körper nehmen alſo die Elektricität von einem andern an der Berührungsſtelle an, können ſie aber nicht durch ihre Maſſe fortpflanzen. Man nennt ſie darum Nichtleiter wohl auch Iſolatoren. Ganz verſchieden iſt das

Verhalten eines Stückes Metall, geglühter Kohle, Holz, eines Thier- oder Pflanzenkörpers ꝛc. ꝛc. Ein ſolcher nimmt bei der Berührung mit einem elektriſchen Körper nicht bloß die Elektricität an der Berührungsſtelle an, ſondern pflanzt die ſo angenommene Elektricität durch ſeine eigene Maſſe von Theilchen zu Theilchen fort und darum erleidet der elektriſche Körper durch Berührung mit einem ſolchen einen ſehr merklichen Abbruch an ſeiner Elektricität, ja wenn der berührende Körper viel Maſſe hat oder ſelbſt wieder mit Stoffen von ähnlichem Verhalten in Verbindung ſteht, ſo verſchwindet die Elektricität ganz. Solche Körper heißen darum Leiter der Elektricität. Oft nennt man die Nichtleiter auch ſchlechte und die Leiter gute Leiter und unterſcheidet auch Körper, die ein Verhalten zeigen, welches zwiſchen Leitung und Iſolirung gleichſam in der Mitte ſteht, durch die Bezeichnung Halbleiter; doch dürfte dieſer Unterſchied wohl bei einer ſtreng logiſchen Auffaſſung nicht beſtehen können.

Hiernach erklärt es ſich, warum ein ohne weitere Vorkehrung in der Hand gehaltenes Metall durch Reiben nicht in den elektriſchen Zuſtand verſetzt wird, während dieſes gelingt, wenn man das Metall an einem iſolirenden Handgriffe hält und ſich hüthet, es mit der Hand, die das Reibzeug führt, unmittelbar zu berühren. Eine Eintheilung der Körper in ſolche, die durch Reiben elektriſch werden, und in ſolche, die es nicht werden, etwa wie man die Körper in magnetiſche und nicht magnetiſche zu theilen gewohnt iſt, wäre daher unrichtig.

60. Die durch Reiben des Glaſes mit einem Tuchlappen erzeugte Elektricität iſt von der durch gleiche Behandlung des Harzes erregten weſentlich verſchieden. Bringt man nämlich einem Hollundermarkkügelchen, das durch den Seidenfaden, woran es hängt, iſolirt iſt, von einer geriebenen Glasſtange Elektricität bei; ſo wird es von dieſer, wie auch von jeder andern geriebenen Glasſtange abgeſtoßen, dagegen, ohne noch ſeine Elektricität eingebüßt zu haben, von einer geriebenen Siegellackſtange angezogen. Eben ſo wird das Kügelchen, wenn es von der Siegellackſtange durch Berührung Elektricität empfangen hat, von jeder geriebenen Harzſtange abgeſtoßen, von einer geriebenen Glasſtange aber angezogen. Man kann den Verſuch unmittelbar mit den Stangen ſelbſt machen. Eine aufgehängte und geriebene Glasſtange wird von einer andern geriebenen Glasſtange abgeſtoßen, von einer elektriſch gemachten Harzſtange hingegen angezogen, und eben ſo wird die bewegliche elektriſche Harzſtange von einer Harzſtange abgeſtoßen, von einer Glasſtange angezogen. Theilt man zwei iſolirten Korkkügelchen von derſelben Quelle Elektricität mit, ſo ſtoßen ſie einander ab; gibt man aber dem einen Kügelchen Elektricität der Glasſtange, dem andern Elektricität der Harzſtange, ſo ziehen ſie ſich an. Hat man in dem letztern Falle bei der Mittheilung der verſchiedenen Elektricitäten das rechte Maß getroffen, ſo zeigen ſich die Kügelchen, nachdem ſie mit einander in Berührung gekommen ſind, ganz ohne Elektricität. Hat man die Elektricitäten nicht im rechten Maße angewendet, ſo erſcheinen beide Kügelchen, nachdem ſie

ſich berührt haben, mit der im Ueberſchuſſe vorhandenen Elektricität. Aus dieſem Verſuche, und noch leichter aus denen, welche ſich mit den im Nächſtfolgenden zu erklärenden Apparaten anſtellen laſſen, ergibt ſich die wichtige Folgerung, daß ſich die durch Reiben des Glaſes erregte Elektricität und die durch Reiben des Harzes erzeugte gegenſeitig ganz oder zum Theil aufheben wie entgegengeſetzte Größen. Man nannte vormals die eine dieſer Elektricitäten die Glaselektricität, die andere Harzelektricität; dieſe Benennungen ſind jedoch unpaſſend, weil die betreffenden Elektricitäten nicht allein im Glas und Harz, ſondern in jedem andern Körper erzeugt werden, ja ſowohl die eine als die andere nach Verſchiedenheit der Behandlung im Glas oder Harz erregt werden kann. Es gibt nur dieſe zwei Elektricitäten und keine dritte; denn man findet keinen elektriſchen Körper, der ſowohl auf einen mit der Glaselektricität, wie auch auf einen mit der Harzelektricität verſehenen Körper anziehend oder auf beide abſtoßend wirkte oder deſſen Elektricität nicht durch ein ſchickliches Maß der einen oder der andern aufgehoben werden könnte. Die zweckmäßigſte Benennung der beiden Elektricitäten iſt wohl die, nach welcher die eine poſitive (+ E), die andere negative (— E) heißt, indem ſie ſich in der That wie entgegengeſetzte Größen in der Mathematik verhalten. Es iſt zwar gleichgültig, welche dieſen oder jenen Namen bekommt, aber gewöhnlich nennt man die durch Reiben des polirten Glaſes mit Leder oder Tuch erzeugte die poſitive, mithin die andere die negative. Aus obigem Verhalten der auf gleiche oder auf verſchiedene Weiſe elektriſirten Körper folgt das Fundamentalgeſetz, daß gleichnamig elektriſirte Körper ſich abſtoßen, ungleichnamig elektriſirte ſich anziehen.

Wenn hier von zwei entgegengeſetzten Elektricitäten wie von zwei wirklich exiſtirenden Dingen geredet wird, ſo geſchieht es, ohne ſich in eine Hypotheſe über das Weſen dieſer Elektricitäten einzulaſſen. Die Exiſtenz zweier verſchiedenen elektriſchen Zuſtände iſt ein wohl begründetes Factum; nicht minder gewiß iſt es, daß jedem dieſer Zuſtände eine beſondere nächſte Urſache zum Grunde liegt. Durch das Wort »Elektricität« mit dem Beiſatze: »poſitive« oder »negative«, wird vor der Hand nichts weiter als dieſe nächſte Urſache des einen oder des andern Zuſtandes bezeichnet.

61. Ein an einem Seidenfaden hängendes Hollundermarkkügelchen kann, wie aus dem Vorhergehenden erhellet, nicht nur dazu dienen, das Vorhandenſeyn des elektriſchen Zuſtandes an einem Körper wahrzunehmen, ſondern auch über die Art der Elektricität zu entſcheiden. Wird nämlich das Kügelchen in ſeinem natürlichen Zuſtande von einem Körper angezogen, ſo iſt dieſer elektriſch. Wird das Kügelchen, nachdem es von dem Körper Elektricität erhalten hat, von einer mit Leder oder Tuch geriebenen Siegellackſtange abgeſtoßen oder von einer mit Tuch oder Pelzwerk geriebenen Siegellackſtange angezogen, ſo iſt die Elektricität des Körpers die poſitive; wirken aber die beiden Stangen auf eine der vorgenannten entgegengeſetzte Weiſe, ſo hat der zu unterſuchende Körper die negative Elektricität. Ein ſolches Hollundermarkkügelchen iſt demnach ein wahres Elektroſkop. Indeſſen läßt

ſich mit dieſem, dem ſogenannten **Kugelelektroſkope**, die Anweſenheit und die Art der Elektricität nur da nachweiſen, wo ſie eine hinreichende Kraft hat, um die Maſſe des Kügelchens in eine merkliche Bewegung zu verſetzen; für ſchwache Elektricitätsgrade bedarf man jedoch eines empfindlicheren Inſtrumentes. Sehr zweckmäßig und zu feinen Verſuchen anwendbar iſt das **Bennet'ſche** oder **Goldblattelektroſkop** (Fig. 212). Von dem Ende eines Kupfer- oder Meſſingdrahtes hängen zwei gleich lange ſchmale Goldblättchen herab, die einander der ganzen Länge nach an der breiteren Fläche berühren. Zur Verminderung des ſtörenden Einfluſſes des Luftzuges ſind die Blättchen in ein Gefäß von Glas eingeſchloſſen, durch deſſen obere Mündung der Draht geht. Am anderen Ende, außerhalb des Gefäßes trägt der Draht eine metallene Kugel oder auch eine Platte. Die Kugel, oder nach der gewöhnlicheren Einrichtung, die Platte, dient dazu, den Goldblättchen die zu unterſuchende Elektricität zuzuführen. Sie heißt deßhalb die **Zuleitungs-** oder **Collectorplatte**. Sobald dieß geſchieht, weichen die Goldblättchen in Folge der unter denſelben eintretenden Abſtoßung aus einander und bilden, nach Maßgabe der Stärke (Spannung) der ihnen beigebrachten Elektricität, einen größeren oder kleineren Winkel, den man mittelſt eines Gradbogens meſſen kann.

Es iſt unerläßlich, daß die zuleitende Platte oder Kugel, wie auch der Draht eine vollkommen glatte (polirte) Oberfläche haben, weil an rauhen oder mit Spitzen verſehenen Stellen eines Leiters die Elektricität ſehr leicht entweicht, was einen ordentlichen Verſuch unmöglich machen würde. Trägt man Sorgfalt, die Luft in dem wohlverſchloſſenen Gefäße durch etwas Chlorcalcium in vollkommener Trockenheit zu erhalten, und iſt die äußere Luft nicht zu feucht, ſo bleiben die Goldblättchen hinreichend lange in derſelben Divergenz ſtehen. Man pflegt dem Gefäße einen metallenen Boden zu geben, von dem einander gegenüber zwei Metallplatten oder auch nur zwei an das Glas geklebte Staniolſtreifen in die Höhe gehen, woran bei zu großer Divergenz die Goldblättchen anſchlagen und ihre Elektricität abſetzen können; auch befördert die Anziehung zwiſchen den Goldblättchen und Metallſtreifen die Divergenz der erſteren, wodurch das Inſtrument an Empfindlichkeit gewinnt. Man kann auch, wo es nicht auf die äußerſte Empfindlichkeit ankommt, ſtatt der Goldblättchen, wie **Volta** gethan hat, dünne Stroh- oder Grashalme anwenden, und erhält dadurch ein minder verletzbares, zur Demonſtration der Eigenſchaften der Elektricität bei Vorträgen ſehr brauchbares Inſtrument.

62. Vorbenanntes Elektroſkop iſt mehr zu qualitativen Anzeigen, wo es vor allem auf Empfindlichkeit ankommt, als zu quantitativen Beſtimmungen geeignet. Denn wenn gleich dasſelbe ein Mehr oder Weniger an elektriſcher Kraft leicht zu erkennen gibt, ſo erfordert ſeine Anwendung zum wirklichen Meſſen dieſer Kraft ganz beſondere theoretiſche Hilfsmittel, ſo daß dem praktiſchen Phyſiker ein Inſtrument, welches dieſem Zwecke ohne künſtliche Rechnung direct genügt, ſehr willkommen ſeyn muß. Die **Coulomb'ſche Drehwage** ſo gebraucht, wie es ſchon ihr Erfinder und in neueſter Zeit **Faraday**

muſterhaft gethan hat, genügt allen Anforderungen. Es unterſcheidet ſich die elektriſche Wage von der im vorhergehenden Abſchnitte (25) beſchriebenen magnetiſchen darin, daß ſich an der Stelle des an einem feinen elaſtiſchen Faden (am beſten von Glas) hängenden Metallſtabes ein leichter Hebel aus Schellack befindet, der an einem Ende eine vergoldete Kugel oder ein Scheibchen aus Goldpapier, am anderen aber eine zur Aequilibrirung des Stäbchens paſſende Maſſe trägt, der man die Geſtalt einer Windfahne geben kann, um eine raſche Einſtellung des Hebels auf eine fixe Lage zu befördern. Im natürlichen Zuſtande ruht der Schellackhebel in der Verticalebene, wo ſich der Nullpunct der Eintheilung des Glaskaſtens befindet, und das Papierſcheibchen oder die leitende Kugel berührt eine andere auch leitende Kugel, die von außen und oben in den Kaſten geſchoben und wieder heraus genommen werden und mittelſt welcher man dem Hebel Elektricität mittheilen kann. Sowohl oberhalb als unterhalb der Theilung des Glaskaſtens befindet ſich rings um den Kaſten ein Streifen von Zinnfolie, beide Streifen ſind ſowohl unter ſich als mit der Erde leitend verbunden, und innerhalb des Kaſtens iſt auf einem Glastiſchchen Chlorcalcium oder geſchmolzene Pottaſche angebracht, welcher Stoff mit einem Drahtnetze umgeben iſt und die Beſtimmung hat, die Luft trocken zu erhalten, und darum auch nur gebraucht wird, wenn dieſe Trockenheit beabſichtiget iſt. (Dellmann in Pogg. Annal. 57. 301.)

Um mit der Drehwage die Größe der elektriſchen Abſtoßung zu meſſen, theilt man der Kugel der Wage und dadurch der ſie berührenden Scheibe des Hebels Elektricität mit, worauf dieſe ſich abſtoßen. Hierauf führt man den Hebel auf eine beſtimmte Stellung zurück, indem man dem Drahte durch Drehung von oben eine Windung nach einer der Abſtoßung entgegengeſetzten Richtung ertheilt. Will man nun zwei Abſtoßungen mit einander bei gleicher Entfernung des Hebels von ſeiner natürlichen Lage vergleichen; ſo darf man nur die Torſion des Drahtes, welche nöthig iſt, um dem Hebel in beiden Fällen einerlei Stellung zu geben, durch die Größe des Abſtoßungswinkels vermehren: die ſo erhaltenen Zahlen verhalten ſich wie die Repulſionen. Hat man z. B. dem Drahte in einem Falle eine Windung von 70°, im anderen eine Windung von 185° ertheilen müſſen, um eine Ablenkung von 10° zu erhalten; ſo verhalten ſich die Repulſionen wie $70 + 10 : 185 + 10 = 80 : 195$. Auf ähnliche Weiſe verfährt man beim Meſſen der elektriſchen Anziehung. Zum Uebertragen der Elektricität von einer Stelle eines Körpers in den Hebel oder in die ihm gegenüberſtehende Kugel dient am beſten ein Scheibchen aus Goldpapier mit einem Stiele aus Schellack, an dem man es hält. Dieſes heißt darum auch die Probeſcheibe.

Zweites Kapitel.

Erregung elektriſcher Spannung durch Vertheilung.

63. Wenn man einem Körper Elektricität mittheilen will, ſo muß man ihm den ſchon elektriſchen bis zu einem gewiſſen, meiſtens geringen Abſtande nähern. Es geht aber ſchon vor der Mittheilung eine andere Art der Elektriſirung vor, die man Elektriſirung durch Vertheilung nennt.

Um die Geſetze dieſer Elektriſirung kennen zu lernen, bedient man ſich eines länglichen iſolirten Leiters, wie z. B. eines etwa 3 L. dicker, 6—8 Z. langen, an beiden Enden rund gefeilten, mit einem iſolirenden, ſenkrecht daran befeſtigten Handgriffe verſehenen Drahtes (Fig. 213), der an mehreren Stellen, unter anderen auch an den Enden Strohhalme oder an feinen Drähten hängende Hollundermarkkügelchen trägt, die eben ſo viele Elektroſkope vorſtellen. Hält man dieſen Leiter in verticaler Lage in einiger Entfernung über einen mit Pelzwerk ſtark geriebenen, alſo negativ elektriſchen Harzkuchen, ſo bemerkt man daran Folgendes: 1) Die am Drahte hängenden Kügelchen werden abgeſtoßen und zeigen dadurch, daß der Draht elektriſch geworden ſey. 2) Die Ablenkung dieſer Kugeln vom Drahte iſt an beiden Enden deſſelben am größten, wird gegen die Mitte zu immer ſchwächer und nahe an der Mitte gibt es eine Stelle wo, wenn ſich dort derlei elektroſkopiſche Kugeln befinden, gar keine Ablenkung derſelben Statt hat. Es iſt alſo der Draht an den Enden am meiſten, in der Mitte weniger, an einer Stelle gar nicht elektriſch. 3) Unterſucht man die Beſchaffenheit dieſer Elektricität, indem man dem Leiter eine geriebene Glas- oder Siegellackſtange nähert, ſo findet man, daß das dem Harzkuchen zugekehrte Ende $+$E, das davon abgewendete $-$E hat. Es iſt daher der Draht ganz anders elektriſirt, als es durch Mittheilung elektriſirte Körper zu ſeyn pflegen, indem hier in einem guten Leiter beide Elektricitäten zugleich, doch an verſchiedenen Stellen deſſelben vorkommen. 4) Entfernt man den Draht vom Harzkuchen, ohne ihn zu berühren, ſo hört die Ablenkung der Kugeln auf und es iſt kein Zeichen eines elektriſchen Zuſtandes an demſelben mehr bemerklich, zum abermaligen Beweiſe, daß die hier Statt gehabte Elektriſirung von der durch Mittheilung weſentlich verſchieden ſey. 5) Berührt man den Draht, während er ſich unter dem Einfluſſe des Harzkuchens befindet, an irgend einer Stelle mit dem Finger, ſo geht ein Funke in denſelben über, der Draht verliert die $-$E, denn die Ablenkung des oberen Kügelchens hört auf; ſeine $+$E geht aber nicht verloren, ſondern iſt ſogar ſtärker als vorher, denn das untere Kügelchen divergirt ſtärker. Nimmt man nun nach geſchehener Berührung den Draht aus der Wirkungsſphäre des Harzkuchens, ſo erſcheint er durchaus mit $+$E. Es iſt daher dieſe Elektricität frei geworden. 6) Was an dem Draht bei der Berührung deſſelben mit dem Finger ge-

ſchieht, das erfolgt eben ſo, wenn man die Berührung an irgend einer Stelle mit einem hinreichend langen iſolirten Leiter vornimmt. Iſt aber der berührende Leiter nur kurz, ſo iſt die Stelle der Berührung, bezüglich der nachfolgenden Erſcheinungen, nicht gleichgiltig. Wird der Draht oben, nämlich an dem vom Harzkuchen abgewendeten Ende, wo der Sitz der —E iſt, berührt, ſo zeigt nach Entfernung des berührenden Leiters das obere Kügelchen eine ſchwächere, das untere eine ſtärkere Ablenkung als früher; geſchieht die Berührung unten am Sitze der +E, ſo erfolgt das Umgekehrte. Bringt man nach der Berührung den Draht aus der Wirkungsſphäre des Harzkuchens, ſo zeigt er im erſten Falle +E, im zweiten hingegen —E. 7) Wendet man ſtatt des negativ geladenen Harzkuchens einen mit +E verſehenen Körper an, und wiederholt die vorbenannten Verſuche; ſo findet man genau dieſelben Reſultate, nur mit dem Unterſchiede, daß in dem durch Vertheilung elektriſirten Körper überall, wo vorher +E aufgetreten iſt, nun —E erſcheint und umgekehrt. 8) Die Ergebniſſe bleiben dieſelben, es mag warme oder kalte, dichtere oder dünnere, mehr oder weniger feuchte atmoſphäriſche Luft oder ein anderes Gas ſich zwiſchen den beiden Körpern befinden, aber feſte und tropfbare dazwiſchen geſtellte Körper modificiren den Hergang auffallend, wie man ſich leicht überzeugen kann, wenn während eines Verſuches, wo Luft der Zwiſchenkörper iſt, ein ſolcher Stoff eingeſchoben wird. Nach Faraday's Verſuchen ſoll die Vertheilung durch Schellack, Schwefel, Glas beſſer vor ſich gehen als durch die Luft, und ſelbſt Terpentinöhl, Naphta ſollen Spuren einer verſchiedenen Wirkung zeigen; daher unterſcheidet Faraday ein ſpezifiſches Vertheilungsvermögen der feſten und tropfbaren Iſolatoren. 9) Alle dieſe Phänomene laſſen ſich ſo oft hervorbringen als man will, ohne durch Wiederholung ſchwächer zu werden, wenn nur der die Vertheilung bewirkende Körper immer gleich elektriſch iſt. Uebrigens verliert dieſer durch ſolche Verſuche nichts von ſeiner Elektricität.

Der Umſtand, daß man, wie in 5) geſagt wurde, einen Leiter, der unter dem Einfluſſe eines elektriſchen (z. B. eines mit —E verſehenen) Körpers ſteht, mit dem Finger berühren darf, ohne die entgegengeſetzte Elektricität, welche an der dem genannten Körper zugewendeten Seite des Leiters angehäuft iſt (in unſerem Falle +E), wegzunehmen, während die gleichnamige (—E) ſogleich abgeleitet wird, hat veranlaßt, erſtere Elektricität auf dem Leiter eine gebundene, letztere eine freie zu nennen. Die Abänderung des Verſuches unter 6) zeigt was es damit für eine Bewandtniß habe, und die Folge wird dieß noch mehr aufklären. Es genüge hier zu bemerken, daß bei der Berührung eines durch Vertheilung elektriſirten Leiters mit einem andern Leiter die Sache ſo zu nehmen ſey, als wäre bloß ein aus den beiden ſo eben genannten zuſammengeſetzter Leiter dem Einfluſſe des elektriſchen Körpers unterworfen. Darnach ſind insbeſondere die verſchiedenen Reſultate zu beurtheilen, welche ſich ergeben, wenn man einen der Vertheilung ausgeſetzten leitenden Körper mit iſolirten Leitern von verſchiedener Größe und Geſtalt auf verſchiedene Weiſe berührt, und die ihm ſo entzogenen Elektricitäten für diejenigen anſieht, welche an den berührten Stellen des Körpers haften

64. Der ſo eben beſprochene Einfluß eines elektriſchen Körpers auf einen ihn nicht berührenden Leiter kann nur in ſo ferne als beſtimmte Wirkung in die Ferne angeſehen werden, als er im leeren Raume Statt findet. Nimmt aber den Raum zwiſchen dem Vertheilenden und dem ſeinem Einfluſſe ausgeſetzten Körper irgend ein Stoff ein, wie dieſes in allen vorhergehenden Fällen geſchah; ſo kann man immerhin fragen, ob der erſtere auf den letzteren durch den zwiſchen befindlichen Iſolator hindurch wirke und ob dieſe Wirkung als eine von einem Theilchen des Iſolators zum andern ſich fortpflanzende Action angeſehen werden müſſe, oder ob eine unmittelbare Wirkung in die Entfernung Statt finde. Der vorhin erwähnte Einfluß der Natur des Zwiſchenkörpers auf die Größe der Vertheilungsphänomene ſpricht beſtimmt für ein Verhalten der letzteren Art und man muß daher annehmen, daß es nur im leeren Raume eine eigentliche Wirkung in die Ferne gebe, in dem Falle aber, wo ein Iſolator den Zwiſchenkörper abgibt, eine Wirkung von Theilchen zu Theilchen desſelben Statt finde.

65. In den vorher beſchriebenen Verſuchen konnte der vertheilende Körper nur nach beſtimmten, nicht aber nach allen Richtungen ſeine Wirkung äußern. Um ſeine volle Wirkung zu erfahren, muß man ihn auf das Innere eines Körpers wirken laſſen. Zu dieſem Ende ließ Faraday eine elektriſirte, an einem langen Seidenfaden hängende Kugel A (Fig. 214) in das Innere eines mit einem Elektroſkope verbundenen, zinnernen Gefäßes B (einer ſogenannten Eisbüchſe) hinabgelangen, jedoch ſo, daß zwiſchen der Kugel und dem Gefäße keine Berührung Statt finden konnte. So wie die Kugel in das Gefäß geſenkt ward, divergirten die Goldblättchen des Elektroſkops und dieſe Divergenz wuchs, je weiter die Einſenkung der Kugel erfolgte, bis ſie eine gewiſſe Tiefe erreicht hatte, wo dann die Divergenz der Blättchen für jede tiefere Einſenkung nicht mehr zunahm. Berührte die Kugel die Wand oder den Boden des Gefäßes, ſo ward die Elektricität derſelben dem Gefäße mitgetheilt, aber, was hier die Hauptſache iſt, die Blättchen des Elektroſkops divergirten nicht mehr und nicht weniger als vorher, wo noch Elektriſirung durch Vertheilung Statt fand. Es war demnach die Elektricität, welche im Gefäße durch Vertheilung erregt worden, von gleichem Betrage mit jener, welche demſelben durch die Kugel mitgetheilt wurde. Wendete man ſtatt eines einzigen Gefäßes deren mehrere an, die in einander geſchoben werden konnten, ohne ſich gegenſeitig zu berühren (Fig. 215), und iſolirte eins vom andern durch Schellack; ſo wirkte die elektriſche Kugel durch die innern Gefäße auf das äußere ſo, als wenn nur letzteres allein vorhanden geweſen wäre. Berührte die Kugel das innere Gefäß, ſo wurde dadurch der Elektricitätszuſtand des äußeren nicht geändert und eben ſo war es, wenn die Elektricität des erſten Gefäßes dem zweiten ꝛc. mitgetheilt war. Eine etwaige Verbindung zweier oder mehrerer Gefäße durch einen guten Leiter brachte eben ſo wenig eine Aenderung in dem elektriſchen Zuſtande des äußern hervor, ja es divergirten die

Blättchen des Elektroſkops auf gleiche Weiſe, es mochten die innern Gefäße vorhanden ſeyn oder nicht, man mochte ſie von einander iſolirt oder zu einem einzigen dickwandigen Gefäße verbunden haben.

66. Aus den Phänomenen der elektriſchen Vertheilung kann man mehrere die Natur des elektriſchen Princips betreffende Schlüſſe ziehen. Vorerſt geht daraus hervor, daß der Grund des Elektriſchwerdens in jedem Körper von Natur aus enthalten ſey und zwar zugleich jener des poſitiven oder jener des negativen Zuſtandes. Ferner iſt zu ſchließen, daß der natürliche Zuſtand der Körper in einer Vereinigung beider Zuſtände beſtehe und daher füglich, da man den poſitiven durch +E, den negativen durch —E bezeichnet, durch ±E angedeutet werden kann. Elektriſirung iſt demnach eine Zerlegung von ±E in +E und —E. Da der elektriſche Zuſtand eine Art erkünſtelten gleichſam erzwungenen Zuſtandes iſt, ſo muß angenommen werden, daß ſich die Urſache des poſitiv elektriſchen Zuſtandes mit jenem des negativ elektriſchen zu vereinigen ſuche, während jede für ſich allein ein Beſtreben äußert, ſich auszubreiten. Endlich iſt aus beſagten Erſcheinungen zu erſehen, daß die Vereinigung beider Zuſtände keine Vernichtung der Elektricitäten zur Folge habe, ſondern daß man ſie immer wieder hervorrufen könne. Ueber Elektriſirung durch Vertheilung ſiehe: Pfaff in Schweigg. J 61. 391; Pogg. Ann. 44. 332; Rieß ebendaſ. 37. 642; 44 624; Faraday ebend. 36. 124; 58. 603; Knochenhauer ebend. 58. 31. 211. 391.

67. Die Geſetze der elektriſchen Vertheilung zeigen den Weg zu einem feineren Gebrauche des Bennet'ſchen oder Volta'ſchen Elektroſkopes. Iſt die elektriſche Spannung an dem zu unterſuchenden Körper gering, ſo kann man dem Elektroſkope unmittelbar durch Berührung die Elektricität mittheilen; iſt aber die elektriſche Spannung dieſes Körpers bedeutend, ſo darf man ihn nur in die Nähe des Elektroſkopes bringen. Sobald die Blättchen hinreichend divergiren, berührt man das Elektroſkop mit dem Finger und zieht zuerſt den Finger und hernach den zu prüfenden Körper weg. Die Blättchen des Elektroſkopes divergiren hierauf mit der Elektricität, welche jener des Körpers entgegengeſetzt iſt. Dieſe Elektricität iſt poſitiv oder negativ, je nachdem eine dem Elektroſkope genäherte geriebene Siegellackſtange die Blättchen ſogleich zuſammen fallen oder weiter aus einander gehen macht. Eine geriebene Glasſtange wirkt natürlich entgegengeſetzt.

68. Nähert man einem iſolirten und elektriſch gemachten Leiter einen andern im natürlichen Zuſtande befindlichen Leiter bis auf eine gewiſſe Diſtanz, ſo endiget die Vertheilung mit einem Uebergange der Elektricität von dem erſten auf den zweiten, weniger oder mehr, je nachdem der zweite Leiter iſolirt iſt oder nicht. Man nennt die Diſtanz, in welcher dieſe Mittheilung der Elektricität beginnt, die Schlagweite. Wovon dieſe abhänge, wird ſpäter auseinander geſetzt werden.

Drittes Kapitel.

Geſetze des Gleichgewichtes der Elektricität in Leitern (Elektroſtatik).

69. Wir ſind gewohnt, die Größe der Naturkräfte nach den ihrer Intenſität proportionalen Wirkungen zu beſtimmen. Die an einem Körper haftende, im Gleichgewichte befindliche Elektricität äußert ſich hauptſächlich durch ihre bewegende Kraft, mit der ſie auf einen in beſtimmter Entfernung befindlichen, ebenfalls elektriſchen Körper wirkt und welche anziehend oder abſtoßend iſt, je nachdem die auf einander wirkenden Elektricitäten von ungleicher oder gleicher Natur ſind. Dieſe Kraft läßt uns demnach auf das ſchließen, was man bildlich Menge der Elektricität nennt, ohne gerade ſich dadurch zu dem Bekenntniſſe der Annahme eines materiellen elektriſchen Princips herbeizulaſſen. Nimmt man jene Elektricitätsmenge (Größe der elektriſchen Kraft), welche auf eine ihr gleiche, in der Diſtanz = 1 befindliche, die bewegende Kraft = 1 ausübt, als Einheit der Elektricität an; ſo muß die Summe von zwei, drei ꝛc. ſolchen Mengen die Elektricitätsmenge zwei, drei ꝛc. ausdrücken. Iſt demnach m die Elektricitätsmenge eines Theilchens eines elektriſchen Körpers, m′ die eines andern, r deren Entfernung von einander, p die Anziehung oder Abſtoßung der Menge = 1 in der Entfernung = 1 und wird vorausgeſetzt, daß dieſe Wirkung abnehme, wie die n^{te} Potenz der Entfernung wächſt; ſo hat man als Ausdruck der elektriſchen Anziehung $P = p \cdot \frac{m\,m'}{r^n}$. Für den Fall, als man das elektriſche Princip als etwas materielles anſieht, bedeuten m, m′ wirkliche materielle Quantitäten, liegt aber den elektriſchen Erſcheinungen nur eine Kraft oder Bewegung zum Grunde, ſo haben m und m′ die Bedeutung von Kräften oder Bewegungsgrößen.

70. Um die an einem Körper haftende E der Größe nach beſtimmen zu können, denke man ſich die betreffende Stelle mit der zur elektriſchen Drehwage gehörigen Probeſcheibe (62) in Berührung gebracht, damit dieſelbe ſo viel E aufnehme, als zur Herſtellung des Gleichgewichtes zwiſchen den beiden ſich berührenden Stellen nöthig iſt, und prüfe dann die bewegende Kraft der Elektricität dieſer Scheibe an der Drehwage. Auf dieſem Wege kann man ſich allererſt die Ueberzeugung verſchaffen, daß die vorhin angenommene Proportionalität der Elektricitätsmengen und der ihnen bei gleicher Entfernung zukommenden bewegenden Kräfte wirklich Statt finde.

Man elektriſire eine iſolirte Metallkugel, berühre ſie mit der Probeſcheibe, übertrage ihre Elektricität an die Coulomb'ſche Wage und beſtimme die Größe der Abſtoßung. Berührt man dieſe Kugel nachher mit einer zweiten ganz gleichen Kugel, ſo wird offenbar die Elektricität jedes ihrer Puncte auf die Hälfte reducirt. Wenn man nun wieder die Größe ihrer abſtoßenden Kraft beſtimmt, ſo findet man ſie auch nur halb ſo groß, als im erſteren Falle. Entgegengeſetzte Elektricitäten, welche an gleichen Leitern in gleichen Diſtanzen gleiche bewegende Kräfte äußern,

mithin nach obigem Begriffe der Quantität nach gleich ſind, neutraliſiren ſich auch vollkommen, wenn man ſie auf denſelben Leiter überträgt, wie es in der Grundlage der Theorie (66) ſtillſchweigend vorausgeſetzt wird.

71. Auch das Geſetz, nach welchem die bewegende Kraft der Elektricität mit wachſender Entfernung der auf einander wirkenden Körper ſich ändert, läßt ſich auf ähnliche Weiſe mit der Drehwage ausmitteln. Coulomb hat zu dieſem Ende folgenden Verſuch angeſtellt. Er drehte den Hebel der Wage mittelſt des Drahtes ſo, daß die Kugel deſſelben die ihm gegenüberſtehende ohne Windung des Drahtes berührte und theilte hierauf beiden Kugeln eine geringe Elektricität (mittelſt des Kopfes einer iſolirten Stecknadel) mit, durch welche die Kugel am Hebel um einen Winkel von 36° abgeſtoßen wurde. Drehte er nun abermals den Draht um 126° gegen die Ordnung der Zahlen am Kreiſe des Gehäuſes, ſo fand er, daß die Kugel nur mehr um 18° von ihrer natürlichen Stellung abſtand. Es verhielt ſich daher die Stärke der elektriſchen Kraft in beiden Abſtänden wie

$$36 : 126 + 18 = 36 : 144 = 1 : 4,$$

die Abſtände waren aber im Verhältniſſe 2 : 1, mithin iſt das Geſetz bewieſen, daß ſich die Kräfte, welche zwei in elektriſchem Zuſtande derſelben Art befindliche kugelförmige Körper in verſchiedenen Diſtanzen ihrer Mittelpuncte auf einander ausüben, verkehrt wie die Quadrate ihrer Diſtanzen verhalten. Auf ähnliche Art verfährt man, um das Geſetz der Anziehung zu finden, welches zwiſchen Kugeln, deren elektriſche Zuſtände einander entgegengeſetzt ſind, Statt findet. Betrachtet man, wie es naturgemäß iſt, die Action einer Kugel auf die andere, als das Reſultat der Actionen ihrer kleinſten Theile und nimmt man an, daß die Kräfte, welche von allen Puncten einer im Innern der Kugel mit beliebigem Halbmeſſer concentriſch beſchriebenen Kugelfläche ausgehen, unter ſich gleich ſind; ſo folgt hieraus nothwendig, daß auch die gegenſeitigen Kräfte der kleinſten elektriſchen Körpertheilchen dem Quadrate ihrer Diſtanz verkehrt proportionirt ſind. Demnach iſt die in 69 enthaltene Formel ſo zu ſchreiben $P = p \cdot \frac{m\,m'}{r^2}$.

72. Wird einem iſolirten leitenden Körper Elektricität mitgetheilt, ſo findet ſich dieſe nur an der Oberfläche deſſelben. Denn deckt man die Oberfläche einer metallenen Kugel mit zwei halbkugelförmigen, mit iſolirten Handgriffen verſehenen Schalen von Metall und theilt ihr dann Elektricität mit, ſo erſcheint ſie, nach Wegnahme der Schalen ganz ohne Elektricität, dieſe aber elektriſch. Elektriſirt man eine mit einem Loche verſehene hohle metallene Kugel, ſo zeigt eine in dieſes Loch geſenkte Probeſcheibe, nachdem man ſie ſorgfältig, ohne Berührung der Ränder, herausgenommen hat, keine Spur von Elektricität. Nicht leitende Körper erſcheinen dagegen bei kräftiger Elektricitätseinwirkung auch in ihrer Maſſe elektriſch und bleiben hartnäckig in dieſem Zuſtande. Es iſt kaum zu glauben, daß dieſes ſo verſchiedene Verhalten einen andern Grund habe, als die mit der Leitungsfähig-

keit der Körper zuſammenhängende größere oder geringere Leichtigkeit einer Elektriſirung durch Vertheilung. Die einem guten Leiter mitgetheilte Elektricität kann doch gewiß leichter ins Innere ſeiner Maſſe eindringen, als dieſes bei einem ſchlechten Leiter der Fall iſt und in ſofern muß ſich die einem ſolchen Körper mitgetheilte Elektricität im Inneren deſſelben befinden. Sie wird aber nicht wahrgenommen werden können, weil ihre bewegende Kraft durch Gegenwirkung der Umgebung aufgehoben wird; auch vertheilend kann ſie auf ein inneres Element nicht wirken. Nur an der äußeren Umgrenzung wird eine vertheilende Wirkung Statt finden können und die daſelbſt bemerkbare Elektricität iſt es eben, welche auf ſolche Weiſe hervorgerufen worden iſt. Daß ſie dieſelbe Natur und Stärke haben muß, als die durch Mittheilung erhaltene ſeyn müßte, wenn ſie ſich an der Oberfläche anſammeln könnte, iſt aus 65 klar; aus demſelben Grunde muß auch ein hohler und ein maſſiver Körper gleich viel Elektricität von einem Elektricitätskörper aufnehmen, wie dieſes auch wirklich die Erfahrung zeigt. Das Haften der Elektricität an der Oberfläche eines Körpers iſt Wirkung der Anziehung, die ſie von der entgegengeſetzten E deſſelben Körpers erfährt, nicht aber eines Druckes oder Widerſtandes der ſchlecht leitenden Umgebung (z. B. der Luft). Befindet ſich ein elektriſirter Körper auch im leeren Raume, ſo gibt er doch ſeine Elektricität nicht ab, außer es iſt ein Körper vorhanden, der ſie aufnehmen kann.

73. Eine Probeſcheibe, die man mit verſchiedenen Stellen der Oberfläche einer iſolirten und durch Mittheilung elektriſirten Metallkugel in Contact bringt, empfängt von jeder Stelle gleiche elektriſche Kraft; bei einem länglichen Körper aber zeigt ſich dieſe Kraft an verſchiedenen Stellen verſchieden, am ſtärkſten an den Enden. Es hängt alſo die Anordnung der Elektricität an der Oberfläche eines leitenden iſolirten Körpers von der Geſtalt deſſelben ab. Bei einem ſpitzig auslaufenden Körper muß demnach eine große Ungleichheit in der Stärke der jedem Stücke der Oberfläche zukommenden Elektricität Statt finden und dieſe an der Spitze unverhältnißmäßig groß ſeyn. Darum begünſtigen Spitzen den Abfluß der Elektricität ſo ſehr.

74. Da man bei Verſuchen über die Anordnung der Elektricitäten an einem Körper nur einen Punct nach dem andern unterſuchen kann; ſo iſt klar, daß man zu unrichtigen Folgerungen verleitet würde, wenn in der Zwiſchenzeit der Körper einen Theil ſeiner Elektricität verloren hätte, und man nicht darauf Rückſicht nähme. Ein ſolcher Verluſt iſt aber unvermeidlich, indem auch der beſte Iſolator an der Berührungsſtelle etwas Elektricität aufnimmt und auch der Luft, beſonders wenn ſie feucht iſt, immer etwas von ſeiner Elektricität mitgetheilt wird. Man wird alſo nur dann bei Verſuchen über die Anordnung der Elektricität an einem Körper zu einem richtigen Reſultate gelangen, wenn man im Stande iſt, dieſen Verluſt in Rechnung zu bringen, welches wieder nur der Fall iſt, wenn man das Geſetz, nach welchem er erfolgt, kennt.

75. Um das Geſetz des Elektricitätsverluſtes kennen zu lernen,

hat Coulomb den Verluſt durch die unvollkommen iſolirenden Stützen von dem durch die Luft abgeſondert. Er überzeugte ſich zuerſt davon, daß eine Schellackſtange von $^1/_2$ L. Dicke und 18—20 L. Länge eine mäßig elektriſirte Kugel von Hollundermark, deren Durchmeſſer 5—6 Linien beträgt, vollkommen iſolire: denn ihr Elektricitätsverluſt war gleich, ſie mochte durch ein oder durch mehrere ſolche Stängelchen getragen werden. Wurde daher eine Schellackſtange, wie die angegebene, als Hebel einer Wage gebraucht und die bekannte Hollundermarkkugel dem Hebel gegenüber geſetzt; ſo konnte man gewiß ſeyn, daß der Elektricitätsverluſt, den ſie erleidet, bloß auf Rechnung der Luft komme. Coulomb fand, daß dieſer Verluſt in einerlei Zeit und bei einerlei Feuchtigkeitszuſtand der Luft ſtets der Intenſität der Elektricität, welche der elektriſche Körper der Probeſcheibe mittheilt, proportionirt übrigens aber vom Leitungsvermögen des elektriſchen Körpers und bei einer geringen elektriſchen Spannung auch von der Geſtalt dieſes Körpers unabhängig ſey. Da man nun den Elektricitätsverluſt einer Kugel kannte, die mittelſt einer Schellackſtange vollkommen iſolirt war und daher bloß der Luft Elektricität abgeben konnte; ſo brauchte man nur den Verluſt deſſelben Körpers zu beobachten, wenn er von einer Glasſtange getragen oder an einem Seidenfaden aufgehängt war, davon den Verluſt durch die Luft abzuziehen, um den Verluſt durch unvollkommene Iſolirung von Seite der Stützen zu erhalten. Auch hier fand man, daß ſich die Leitungsfähigkeit eines Körpers unter übrigens gleichen Umſtänden nach der Intenſität der Elektricität richte und ſo wie dieſe Intenſität abnehme.

Man ſieht hieraus, daß für ſehr kleine Grade der Elektricität faſt alle Körper völlige Nichtleiter ſind, ſo daß es gar nichts Ungereimtes wäre, zu behaupten, es befinde ſich in allen Körpern, ungeachtet ihrer leitenden Verbindung unter einander, immer ein gewiſſes Quantum freier Elektricität.

Bei einem von Coulomb angeſtellten Verſuche, wo der Verluſt bloß durch die Luft erfolgte, war die abſtoßende Kraft der Elektricität einer Windung des Drahtes von 270° proportionirt. Nach einer Minute mußte man dieſe Windung um 6° vermindern, um denſelben Abſtoßungswinkel zu erhalten, ſo daß nun die Abſtoßung nur einer Windung von 264° entſprach. Die mittlere Elektricitätsmenge war nun der Größe $\frac{270 + 264}{3} = 267°$ proportionirt, und von dieſer betrug der 6° entſprechende Verluſt $\frac{6}{267} = \frac{1}{44.5}$. Nach Coulomb beträgt bei trockener Luft dieſer Verluſt in einer Minute in der Regel $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$, bei feuchter Luft ſteigt er oft auf $\frac{1}{30}$ der mittleren Spannung.

76. Unterſucht man die an die Probeſcheibe abgeſetzte Intenſität der Elektricität eines Körpers an verſchiedenen Puncten zu verſchiedenen Zeiten, nachdem entweder durch die Luft oder durch unvollkommene Iſolirung ein Theil ſeiner Elektricität verloren gegangen iſt; ſo überzeugt man ſich, daß das Verhältniß dieſer Intenſitäten an verſchiedenen Puncten ſtets daſſelbe bleibt, die abſolute Menge der Elek-

tricität mag wie immer ab- oder zugenommen haben. Dieſe Erfahrung erlaubt die Folgerung, daß durch den Zuwachs einer doppelten oder dreifachen Menge der Elektricität auch jedes Element des elektriſchen Körpers doppelte oder dreifache Elektricität bekomme, und daß ſich größere und kleinere Elektricitätsmengen ſtets nach demſelben Geſetze anordnen und ins Gleichgewicht ſetzen.

Viertes Kapitel.

Elektriſirmaſchine und auf elektriſcher Spannung beruhende Apparate.

77. Ungeachtet man die in den vorhergehenden Kapiteln erörterten Fundamentalgeſetze der Elektricitätslehre mit höchſt einfachen Mitteln demonſtriren kann, indem eine geriebene Glas- oder Siegellackſtange die zu den Verſuchen nöthige Elektricität in hinreichender Menge lieferte; ſo iſt es doch intereſſant, dieſe Naturkraft in einem viel höheren Grade hervorzurufen. Das geeignetſte Erregungsmittel iſt die Reibung, und es handelt ſich um einen Apparat, welcher geſtattet, es auf kräftige Weiſe anzuwenden. Zu dieſem Ende hat man die ſogenannte Elektriſirmaſchine. Sie beſteht aus einem Körper, der gerieben wird, aus einem andern, mit dem das Reiben bewerkſtelligt wird, Reibzeug genannt, und endlich aus einem eigenen, gut leitenden, wohl abgerundeten und iſolirten Körper, Conductor genannt, deſſen Beſtimmung es iſt, die entwickelte Elekricität aufzunehmen und zu ſammeln Es muß aber bemerkt werden, daß es bezüglich der Menge der durch Reiben zu erregenden Elektricität auf die Natur des geriebenen und des reibenden Körpers ankomme, daß am beſten der geriebene Stoff aus einem ſchlechten, das Reibzeug aus einem guten Leiter beſtehe, daß man die beiden Körper unter ſtarkem Drucke anhaltend reibe. Dabei nimmt immer einer derſelben poſitive, der andere negative Elektricität an.

Der geriebene Körper beſteht meiſtens aus Glas, wiewohl er an älteren Maſchinen auch aus Porcellan, Schwefel, Seidenzeug, Holz ꝛc. angefertigt wurde; er hat meiſtens die Geſtalt einer Scheibe, weil ſich dieſe an das Reibzeug am beſten anlegt und demſelben auch die größte Fläche darbietet. Das Reibzeug iſt ein ledernes Kiſſen, welches mit einem Amalgam überſtrichen wird, das am beſten aus 1 Theile Zinn, 1 Th. Zink und 2 Th. Queckſilber beſteht, und das Kienmayer'ſche Amalgam heißt; doch ſoll auch Muſivgold (Schwefelzinn) oder geſchabter Graphit eine gute Wirkung thun. Meiſtens beſteht das Kiſſen ganz aus Leder oder iſt mit Haaren oder gar mit Metallſpänen ausgeſtopft; manche ziehen es aber vor, das Reibzeug gerade nur aus einem Bretchen beſtehen zu laſſen, das mit glattem weichen Leder überzogen iſt. Ein ſolches ſoll nur wenige (2 höchſtens 3) Zoll breit ſeyn und nicht eine größere Länge haben, als der halbe Radius der Scheibe iſt. Man braucht der Reibzeuge bei einer Scheibenmaſchine vier: ſie werden mit zwei- oder mehrfachen Flügeln von weichem, nicht klebenden

Wachstaffet verſehen, die ſich an das Glas anlegen und es bis zu der Stelle bedecken, wo die Elektricität an den Conductor abgegeben wird. Soll im Glaſe viel Elektricität frei werden, ſo muß man die des Reibzeuges in die Erde ableiten, damit ſie nicht jene des Glaſes durch ihre Anziehungskraft binde; darum werden auch die Reibzeuge leitend mit der Erde verbunden. Es iſt aber gut, ſie auch zum Iſoliren einzurichten, damit man auch aus ihnen die Elektricität ſammeln und ſo an einer Maſchine beide Elektricitäten erhalten könne. Der Conductor wird aus Meſſingblech oder aus Packfong verfertiget, er kann aber auch aus Holz beſtehen, das mit Zinnfolie überzogen iſt. Gute Iſolirung, völlige Freiheit von allen Schärfen und Spitzen und reine Politur ſind weſentliche Eigenſchaften deſſelben. Fig. 216 ſtellt eine Scheibenmaſchine vor, in welcher A die Scheibe, B das Reibzeug, C der Conductor iſt. (Gren's Journ. 4. 3. Bohnenberger's Beſchreibung einiger Elektriſirmaſchinen. Stuttgart, 1783.)

78. Zur Beurtheilung der elektriſchen Spannung (Ladung) des Conductors dient Henley's Elektroſkop (Fig. 217). Dieſes beſteht aus einem zarten Holzſtängelchen, das an einem Ende eine kleine Korkkugel trägt, am andern aber am Centrum eines getheilten Halbkreiſes ſo befeſtiget iſt, daß es im Falle der Elektriſirung von der Säule, die das Ganze trägt, in einer mit der Ebene des Gradbogens parallelen Ebene abgeſtoßen werden und man den Abſtoßungswinkel meſſen kann. Dieſes Inſtrument wird in der Regel am äußerſten Ende des Conductors jeder Elektriſirmaſchine angebracht und bildet demnach gleichſam einen Beſtandtheil dieſes Apparates.

79. Die Kraft einer Elektriſirmaſchine hängt ab von den Dimenſionen, der Härte und Glätte des geriebenen Körpers, von dem gleichförmigen, an keiner Stelle unterbrochenen Anſchließen der Reibzeuge an den geriebenen Körper und von ihrer gehörigen Größe, von der Güte des Amalgams und ſeiner gleichförmigen Vertheilung, von der iſolirenden Kraft der Taffetflügel an den Reibzeugen, von der gehörigen Größe und Abrundung des Conductors und endlich von der gehörigen Iſolirung aller Theile, welche die Elektricität aufzunehmen beſtimmt ſind.

An einer guten Elektriſirmaſchine laſſen ſich die vorhin erwähnten Erſcheinungen, welche ſich auf das Daſeyn der Elektricität, das Verhalten guter und ſchlechter Leiter derſelben, die Verſchiedenheit der poſitiven und negativen Elektricität und ihr gleichzeitiges Auftreten beziehen, leicht und ſehr augenſcheinlich hervorbringen. So wie man die Scheibe dreht, geht die Elektricität von ihr in den Conductor über und ſammelt ſich in demſelben an. Bringt man einen leichten Körper in deſſen Nähe, ſo wird er erſt angezogen, und ſobald er den Conductor berührt hat, wieder abgeſtoßen. Dadurch, daß dieſe Anziehung rings um den Conductor in einer oft ſehr bedeutenden Entfernung herrſcht, gibt ſich die Ausdehnung ſeiner elektriſchen Atmoſphäre zu erkennen. Nähert man dem geladenen Conductor einen guten Leiter, z. B den Knöchel eines Fingers allmälig, ſo fällt das Henley'ſche Elektroſkop, es ſcheint die Ladung des Conductors abgenommen zu haben; entfernt man ſich wieder, ſo nimmt es bei günſtigen äußern Umſtänden, wozu vornehmlich Trockenheit der Luft zu zählen iſt, ſeinen früheren Stand wieder ein. Nimmt man als den Leiter, den man dem Conductor nähert, eine iſolirte, gleichfalls mit einem Henley-

ſchen Elektroſkope verſehene Metallkugel; ſo kann man an dieſer die vertheilende Einwirkung des Conductors deutlich wahrnehmen. War die urſprüngliche Kugel im natürlichen Zuſtande, ſo ſteigt ihr Elektroſkop; iſt ihr vorher die mit jener des Conductors gleichnamige Elektricität mitgetheilt worden, ſo ſteigt ihr Elektroſkop noch mehr, hat ſie entgegengeſetzte Elektricität empfangen, ſo fällt es. Daß hier nicht etwa die Elektricität des Conductors, welche ſich mit der Vertheilung der natürlichen Elektricität des genäherten Leiters beſchäftigt, dadurch ſo gebunden wird, daß ſie, wie einige Phyſiker angenommen haben, die Fähigkeit einbüßt, gleichzeitig auf das Elektroſkop zu wirken, ſondern daß hier eine zuſammengeſetzte Action beider Elektricitäten, der des Conductors und der durch Vertheilung angeſammelten des Leiters Statt findet, erhellet aus den oben entwickelten elektroſtatiſchen Principien hinlänglich. Nähert ſich der dem Conductor dargebotene Leiter bis auf eine gewiſſe Diſtanz (Schlagweite), ſo geht ein Funke in denſelben über. Steht eine mit dem Conductor leitend verbundene Perſon auf einem mit Glasfüßen verſehenen Brete (Iſolirſchemmel), ſo ſammelt ſich die Elektricität in ihr, und man kann ihr, wie vorhin dem Conductor, an jedem Theile des Körpers Funken entziehen; ihre Haare, die ebenfalls Elektricität angenommen haben, ſträuben ſich und gehen büſchelförmig aus einander. Iſolirt man das Reibzeug, ſo kann man von dieſem eben ſo wie vorhin von der Scheibe, Elektricität erhalten, doch iſt ſie jener des Conductors entgegengeſetzt. Verbindet man Reibzeug und Conductor mit einander, ſo zeigt ſich keine Spur einer frei gewordenen Elektricität, ſo ſtark und raſch man auch die Scheibe drehen und ſo wirkſam die Maſchine auch ſonſt ſeyn mag. In dieſem Falle ſtellt ſich am Conductor und Reibzeug ein elektriſcher Strom her, deſſen Phänomene von jenen der Spannung, von welchen bisher allein die Rede war, ganz verſchieden ſind. Der elektriſche Funke ſelbſt iſt eine Aeußerung der Störung des elektriſchen Gleichgewichtes oder der ſtrömenden Elektricität, wovon ſpäter ausführlicher die Rede ſeyn wird.

Auf den Erſcheinungen der elektriſchen Anziehung an einer Elektriſirmaſchine beruhen eine Menge elektriſcher Spielwerke, z. B. die elektriſche Spinne, der elektr. Tanz, das elektr. Glockenſpiel, der elektr. Hagel, das elektr. Vogelneſt ꝛc. Auf eine artige Weiſe läßt ſich die Verſchiedenheit der elektriſchen Zuſtände recht augenſcheinlich darſtellen, wenn man auf einen glatten Harzkuchen eine leitende Platte ſetzt, und in dieſe einmal vom Conductor, das andere Mal vom Reibzeuge Funken gehen läßt (auch die ſpäter zu beſchreibende Leidnerflaſche kann dazu bequem dienen). Hebt man die Platte ab, und überſtreut man die von ihr berührte Stelle des Harzkuchens mit Schwefel oder Mennigpulver, ſo ordnen ſich die Theilchen desſelben zu merkwürdigen Figuren, die man nach ihrem Entdecker Lichtenberg'ſche Figuren nennt. Die von der poſitiven Elektricität herrührende hat ein ſtrahliges Ausſehen, was der durch negative Elektricität entſtandenen Figur gänzlich mangelt, die aus rundlichen Formen beſteht. Dieſer Charakter zeigt ſich ſchon an der Wirkung eines einzelnen Funkens auf die Harzfläche. (De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi, auct. J. C. Lichtenberg. Gottingae 1778.)

80. Mit der Elektriſirmaſchine ſteht ein Apparat in Verbindung, durch den man noch kräftigere Spannungserſcheinungen erzielt, als die Elektriſirmaſchine unmittelbar gewähren kann, nämlich die elektriſche Flaſche oder Batterie. Auf denſelben Principien wie dieſe beruht ein Surrogat der Elektriſirmaſchine, der Elektrophor, fer-

ner ein Apparat, um ſchwache Anzeigen von elektriſcher Spannung, die ſelbſt der directen Anzeige der Elektroſkope entſchlüpfen, wahrnehmbar zu machen, **Condenſator** genannt. Darum werden dieſe Apparate hier mit einander betrachtet.

81. Wenn man eine dünne Glastafel auf beiden Seiten mit Zinnfolie belegt (armirt), ſo daß nur ein etwa zwei Finger breiter Rand an beiden Seiten frei bleibt, den man zur Abhaltung der Feuchtigkeit mit einer Auflöſung von Siegellack in Weingeiſt überſtreicht; ſo hat man diejenige Vorrichtung, welche **Franklin'ſche Tafel** genannt wird. Es heiße, der Bequemlichkeit wegen, die Belegung auf der einen Seite A, die auf der andern B, die damit unmittelbar in Berührung ſtehenden Glasſchichten aber a und b. Theilt man der Belegung A eine gewiſſe Elektricität, z. B. + E mit, ſo wird dadurch auch, weil die leitende Belegung der Elektricität geſtattet, ſich auszubreiten, das Glas an allen Puncten, in welchen es mit der Belegung in Berührung ſteht, bis auf eine gewiſſe geringe Tiefe, d. h. es wird die Glasſchichte a elektriſirt. Dieſe Elektricität zerſetzt die natürliche Elektricität (± E), welche in der gegenüber ſtehenden Belegung B enthalten iſt, ſehr leicht, da dieſe Belegung der Bewegung der entgegengeſetzten Elektricität kein merkliches Hinderniß in den Weg legt, — E wird angezogen, + E abgeſtoßen. Erſtere, nämlich — E, wird auch dem der Belegung anliegenden Glaſe b bis auf eine geringe Tiefe mitgetheilt, oder was dasſelbe heißt, es wird durch die leitende Belegung die Zerſetzung der natürlichen Elektricität der Glasfläche b möglich; letztere, nämlich die zurückgeſtoßene + E, wirkt, ſo lange B iſolirt iſt, durch ihre Anziehung zur — E dem von der Fläche A ausgehenden, die Zerſetzung anſtrebenden Einfluſſe entgegen, fließt aber, wenn die Fläche B nicht iſolirt iſt, in den Boden ab, wodurch eine reichlichere Aufnahme ſowohl von — E in die Glasſchichte b, als auch in Folge deſſen von + E in die Glasſchichte a möglich wird. Die Tafel heißt in dieſem Zuſtande **geladen**. Die den Glasflächen a und b beigebrachten entgegengeſetzten Elektricitäten binden ſich gegenſeitig; ihrer Vereinigung ſteht das Glas als Nichtleiter entgegen. Setzt man aber die Belegungen A und B mit einander in leitende Verbindung, ſo erfolgt Vereinigung der + E und — E. Man ſagt dann, die Tafel werde **entladen**.

Von dem Abfließen der + E aus B beim Laden der Tafel kann man ſich leicht überzeugen, wenn man die Belegung B iſolirt und ihr dann einen guten Leiter nähert; denn da ſieht man, während die andere Fläche A elektriſirt wird, Funken übergehen, mit denen man ſogar eine zweite ähnliche Tafel laden kann. Daß bei dieſem Verfahren das Glas wirklich geladen werde und daß man die Belegung nur brauche, um ihm die Elektricität auf einer Seite leicht mitzutheilen, auf der andern ſie leicht abzuleiten, lehrt folgender Verſuch: Man nehme eine dünne Glastafel, armire ſie ſtatt mit Zinnfolie mit Metallplatten und lade ſie. Nimmt man hierauf mittelſt iſolirender Handgriffe die Platten von der Glastafel weg und berührt ſie mit dem Finger, damit ſie die Elektricität verlieren; ſo lehrt die Erfahrung, daß, ſobald man

dieſe Platten wieder als Armatur auf die Glastafel gibt, die indeß unberührt geblieben iſt, dieſelbe geladen erſcheine, und zwar nicht bloß an den beiden äußerſten Flächen, ſondern bis auf eine gewiſſe, wenn auch geringe Tiefe ins Innere des Glaſes hinein. Denn wie könnte es ſonſt kommen, daß eine ſolche Tafel, nachdem man ſie durch einen beide Belegungen leitend verbindenden Körper entladen und ganz ohne Elektricität befunden hat, nach einiger Zeit, wenn die Belegungen iſolirt geſtanden, wieder eine Ladung annimmt. Die eine Belegung, welche mit der Elektricitätsquelle in Verbindung geſetzt wird, hat bloß den Zweck, dem Glaſe Elektricität zuzuführen; ſie würde aber wenig Elektricität aufnehmen können, wenn nicht ein guter Theil derſelben von der entgegengeſetzten der andern Glasfläche gebunden würde. Dieſe entgegengeſetzte würde aber nicht frei werden, wenn nicht jene Elektricität, durch welche ſie im natürlichen Zuſtande gebunden war, in den Boden abfließen könnte, und dieſes Abfließen vermittelt die zweite Belegung. Man kann ſtatt Glas eine dünne Tafel von jedem andern ſchlecht leitenden Körper brauchen. Ein Glimmerblatt wirkt äußerſt kräftig.

82. Eine Flaſche, die in- und auswendig mit Metall beſetzt iſt, wie eine *Franklin'ſche* Tafel, bis auf einen ſchmalen Streifen am oberen Rande, ſtellt eine *Leidnerflaſche* vor. Gegenwärtig gibt man ihr folgende Einrichtung: Ein dünnes Zuckerglas oder ein dünner Glasſturz in umgekehrter Stellung wird in- und auswendig mit Zinnfolie ſo belegt, daß nur ein zollbreiter Streifen am Rande beiderſeits unbelegt bleibt. Dieſen beſtreicht man, um die Belegungen gut zu iſoliren, mit einem Firniß oder mit Siegellack, ſtellt einen Metalldraht ſo hinein, daß er den Boden berührt, ein Paar Zoll über das Gefäß herausſteht und in einen Knopf endet (Fig. 218). Hält man den Knopf der Flaſche an den wohl elektriſirten Conductor einer Maſchine, während die äußere Bewegung in leitender Verbindung mit der Erde ſteht; ſo wird die Flaſche, wie vorhin die *Franklin'ſche* Tafel, geladen, es erhält die innere Belegung die Elektricität des Conductors, z. B. + E, die äußere die entgegengeſetzte (— E), und die Intenſität beider kann ſo weit geſteigert werden, als es der Widerſtand des Glaſes gegen das Beſtreben der beiden Elektricitäten, ſich zu vereinigen, geſtattet. Nach Maßgabe der inneren Ladung einer ſolchen Flaſche geht von der äußeren Belegung Elektricität weg, und die Menge derſelben gibt ein gutes Maß für die Menge der der Flaſche zugeführten Elektricität und kann zur Berechnung der auf einer Flächeneinheit der Flaſche enthaltenen Elektricitätsmenge benützt werden.

83. Wenn man mehrere Leidnerflaſchen oder *Franklin'ſche* Tafeln ſo mit einander verbindet, daß alle inneren und alle äußeren Belegungen mit einander in leitender Communication ſtehen, ſo erhält man eine *elektriſche Batterie* (Fig. 219). Es iſt klar, daß dieſe geladen wird, wenn man bloß dem Knopfe einer Flaſche Elektricität aus dem Conductor der Maſchine mittheilt, und daß ſie ausgeladen wird, wenn man bloß die innere Belegung *einer* Flaſche mit ihrer äußeren durch einen guten Leiter in Verbindung ſetzt. Eine Batterie vertritt eigentlich eine große Leidnerflaſche, hat aber vor dieſer

den bedeutenden Vorzug, daß man ſie nach Belieben vergrößern und verkleinern kann, indem man neue Flaſchen zugibt oder einige von der Communication mit den übrigen ausſchließt, endlich wird durch Beſchädigung einer Flaſche nicht gleich die ganze Batterie unbrauchbar, wie dieſes bei einer großen Flaſche immer der Fall iſt.

Wenn man mehrere Franklin'ſche Tafeln oder Leidnerflaſchen neben einander ſtellt und die eine Belegung der einen mit der andern Belegung der zunächſt folgenden in leitende Verbindung ſetzt; ſo wird auch das ganze Syſtem der Tafeln oder Flaſchen geladen werden, ungeachtet man auch nur der einen Belegung der erſteren Elektricität mittheilt; allein die Stärke der Ladung nimmt vom erſten Elemente angefangen ab und zwar deſto ſchneller, aus je dickerem Glaſe dieſe Elemente gemacht ſind. Eine ſolche Zuſammenſtellung nennt man eine elektriſche Säule.

84. Eine geladene Leidnerflaſche erſcheint immer an der Belegung, der man + E mitgetheilt hat, mit poſitiver, an der entgegengeſetzten mit negativer Elektricität und beide ziehen ſich an, binden ſich zum Theile, können ſich aber wegen der ſchlechten Leitung des Glaſes nicht vereinigen. Doch kann ihre Intenſität durch Laden ſo weit geſteigert werden, daß ſie ſich durch das Glas vereinigen und dasſelbe durchbohren. Je dicker das Glas iſt, deſto ſchwerer kommt es zu einer ſolchen Entladung, und es wird ſelbſt die Spannung der beiden Glasflächen bei einerlei Zuleitung der Elektricität deſto kleiner ſeyn, je dicker das Glas iſt. Berührt man den Knopf einer Flaſche mit dem Finger, ſo geht ein Funke in denſelben über, die Spannung der Flaſche vermindert ſich, iſt aber noch nicht ganz aufgehoben. Zu letzterem braucht es mehrere, oft eine ſehr große Zahl von derlei Berührungen. So oft man einer Belegung etwas Elektricität nimmt, läßt auch die andere einen Theil ihrer Elektricität fahren. Die Luft bewirkt dieſe Ausladung mit der Zeit, wenn auch langſam, von ſelbſt. Doch hat man auch beſondere Einrichtungen an Flaſchen, um ihre Ausladung durch die Luft zu verzögern (Sperrflaſchen). Um die Entladung mit Bequemlichkeit auszuführen, bedient man ſich des ſogenannten Henley'ſchen Ausladers (Fig. 222). Auch eine Vorrichtung (Fig. 223), die aus zwei ſtarken, einerſeits mit Kugeln verſehenen, andererſeits um eine Charnier beweglichen Dräht chen beſteht und mit einem iſolirenden Handgriffe verſehen iſt, kann zu demſelben Zwecke gebraucht werden.

85. Ueber die Spannung, welche die Ladung einer Batterie zeigt, hat Rieß genaue Verſuche angeſtellt. Die Ladungsgröße der Batterie wurde dadurch beſtimmt, daß er ſelbe iſolirte und die Anzahl der Entladungen, welche die von der äußeren Belegung in eine ſich ſelbſt entladende ſogenannte Lane'ſche Flaſche geführte Elektricität letzterer beibrachte, als Maß der Elektricitätsmenge anſah, welche die Batterie vom Conductor der Elektriſirmaſchine empfing. Die Ladung der Batterie durch die geladene Oberfläche dividirt, gibt die auf eine Flächeneinheit entfallende Elektricitätsmenge, die man bildlich die Dichte der

Elektricität nennen kann. Rieß fand die Abſtoßung einer der Innenſeite der Batterie (dem Knopfe) anliegenden Kugel, eben ſo die Anziehung einer entfernten, nicht iſolirten Kugel durch die Innenſeite der Batterie dem Quadrate der Dichte, die Abſtoßung einer entfernt ſtehenden elektriſchen Kugel der einfachen Dichte der angehäuften Elektricität proportionirt. (Pogg. Ann. 40. 321; 3. 1. Dove's Repert. 2. 36.)

86. Ein äußerſt wichtiges Inſtrument iſt der von Wilke erfundene und von Volta verbeſſerte Elektrophor (Fig. 220). Dieſer beſteht aus einem glatten Harzkuchen, der in eine gut leitende Form gegoſſen wird, und aus einem wohl abgerundeten, ebenfalls leitenden Deckel von etwas geringeren Dimenſionen als der Harzkuchen iſt, und welcher mittelſt ſeidener Schnüre iſolirt werden kann. Wird der Harzkuchen mit einem Fuchsſchwanze oder mit Katzenfell gerieben, ſo wird er negativ elektriſch. In dieſem Zuſtande laſſen ſich folgende Erſcheinungen hervorbringen: 1) Unterſucht man den auf dem Kuchen liegenden Deckel, ſo zeigt er oben die Elektricität des Kuchens (— E), unten die entgegengeſetzte (+ E). 2) Stellt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, ſo gibt er kein Zeichen der Elektricität. 3) Berührt man ihn, während er auf dem Kuchen liegt, mit dem Finger, ſo bemerkt man einen kleinen Funken und der dann aufgehobene Deckel zeigt + E. 4) Berührt man nach Auflegen des Deckels mit einem Finger die Form, mit dem andern den Deckel, ſo erhält man einen Stoß. Der dann aufgehobene Deckel verhält ſich wie in 3). 5) Richtet man den Elektrophor ſo ein, daß der Kuchen aus der Form genommen werden kann; ſo findet man am Kuchen, ſo lange der Deckel aufliegt, unten + E. Die Form zeigt oben — E, unten + E. 6) Alle dieſe Erſcheinungen erfolgen, die Form mag iſolirt ſeyn oder nicht, nur mit dem Unterſchiede, daß die iſolirte Form nach dem Berühren in 4) und nach der Aufhebung des Deckels — E zeigt, und daher bei der Berührung einen Funken gibt.

Die Wirkſamkeit eines Elektrophors hängt von der Größe des Kuchens, von ſeiner Härte, Glatte und Dichte und von der Form und Beſchaffenheit des Deckels ab. Man erhöht ſie durch Vergrößerung, Preſſen, Abſchleifen und Poliren der Harzmaſſe, durch Wahl eines Deckels, der ohne Spitzen und eben iſt und ſich gut an die Harzfläche anſchließt. Die beſte Harzmaſſe zu einem Elektrophor erhält man aus 10 Theilen Gummilack, 3 Th. Harz, 2 Th. venet. Terpenthin, 2 Th Wachs und ½ Th. Pech. Man kann ſtatt des Harzkuchens auch eine Glastafel nehmen, allein dieſe hält die Elektricität nicht lange genug. Weber erſetzte ihn gar durch eine Luftſchichte. Wodurch man ihn aber immer erſetzen mag, ſo bleiben doch die Erſcheinungen dieſelben, mit der einzigen Ausnahme, daß man, wenn der elektriſche Körper + E hat, in allen erwähnten Phänomenen auch ſtatt + E, — E und umgekehrt erhält. Man bedient ſich des Elektrophors mit Vortheil zu Zündmaſchinen; man kann auch Flaſchen damit laden. Als Reibzeug braucht man am beſten Fuchsſchwänze, Katzen-, Haſen- oder Marderfelle und trockenen warmen Flanell.

87. Alle dieſe Erſcheinungen des Elektrophors ſind Folgen der Elektriſirung durch Vertheilung. Die — E des Kuchens bewirkt im

Deckel eine Zerlegung der ± E, ſie zieht + E an, ſtoßt — E ab; daher die Erſcheinungen 1, 2, 3. Im Kuchen ſelbſt erzeugt — E der oberen Fläche unten + E. Dieſe zerſetzt wieder ± E der Form, zieht — E an und ſtoßt + E ab; daher die Phänomene 4, 5, 6. (Hummel in Zeitſchr. n. F. 2. 213.) Der Kuchen des Elektrophors mit ſeinen beiden Belegungen ſtellt eine Franklin'ſche Tafel vor, und kann wie dieſe geladen werden. Theilt man dem Deckel — E mit, ſo erhält auch die obere Fläche des Kuchens — E; entladet man hierauf den Apparat, ſo verliert der Kuchen nicht alle — E, und nun beginnt die eigentliche Wirkung des Elektrophors. Hieraus erhellet die Beziehung des Elektrophors zur Franklin'ſchen Tafel, und wie man letztere in einen Elektrophor umſtalten kann.

88. Der Condenſator, ein von Volta zuerſt bekannt gemachtes Inſtrument, dient ſchwache elektriſche Spannungen zu entdecken, die mittelſt eines gewöhnlichen Elektroſkops nicht mehr bemerkt werden können. Er beſteht in ſeiner beſten Einrichtung aus zwei eben geſchliffenen runden Metallplatten, wovon die untere auf einem iſolirten Fuße ruht, während die obere mit einem iſolirenden Handgriffe verſehen iſt. Die zwei einander zugewendeten Seiten der Metallplatten ſind mit einer ſehr dünnen Firnißſchichte überzogen. Sehr zweckmäßig iſt es, die Collectorplatte eines empfindlichen Elektroſkops gleich als Bodenplatte des Condenſators dienen zu laſſen. Man pflegt ihr auch an der Seite ein vorſtehendes, in einen Knopf ſich endigendes Drahtſtück anzuſetzen, Fig. 221. Wir wollen in den folgenden Betrachtungen der Kürze wegen die iſolirte Oberplatte A, die mit dem Elektroſkope verbundene Unterplatte B nennen.

Statt die Metallplatten an den Berührungsflächen durch eine Firnißſchichte zu trennen, kann man auch dieſelben dadurch iſoliren, daß man die Platten ſich nicht berühren läßt, ſondern auf die Unterplatte kleine Glas- oder Siegellackſtückchen gibt, und die Oberplatte darauf ſetzt. Hier dient die zwiſchen den Platten befindliche Luftſchichte ſtatt des Firniſſes. Man kann ſtatt metallener Platten auch übergoldete Glasplatten anwenden. Früher nahm man zur Unterplatte des Condenſators eine Platte aus einem Halbleiter, meiſtens Marmor, wobei die Firnißſchichte an der Oberplatte zwar entbehrlich war, aber das Inſtrument weit weniger leiſtet, als bei der jetzt allgemein üblichen eben angegebenen Einrichtung.

89. Beim Gebrauche des Condenſators ſtellt man die zwei Platten A und B auf einander, berührt eine derſelben mit dem Finger, während die andere mit jenem Körper in Contact kommt, deſſen Elektricität man erſichtlich machen will, und läßt dieſe Berührung einige Secunden dauern, dann hebt man A am iſolirenden Stiele ab und ſieht zu, ob das mit B verbundene Elektroſkop Zeichen von Elektricität von ſich gibt. Hat man A mit dem Körper berührt, ſo zeigt das Elektroſkop die entgegengeſetzte: hat man B mit dem Körper berührt, ſo zeigt es die gleichnamige Elektricität hinſichtlich jener des Körpers an.

90. Die Wirkung des Condenſators wird klar, wenn man ſich denſelben als eine Franklin'ſche Tafel denkt, deren Glasplatte in

zwei Theile geſpalten iſt. In der That ſtellt jede der zwei Metallplatten eine Armatur, beide ſich berührende Harzſchichten aber die Glasplatte vor. Bringt man nämlich, während die Platten auf einander ruhen, einen z. B. poſitiv elektriſchen Körper M mit der Platte B des Condenſators in Berührung, ſo wird dieſe ſelbſt durch Mittheilung elektriſch, nimmt aber, zumal wenn A mit dem Finger berührt wird, von M mehr Elektricität auf, als wenn ſie mit A nicht in Berührung ſtände; denn die mitgetheilte + E zerſetzt ± E der Oberplatte, und + E wird abgeſtoßen, — E angezogen. Letzteres — E iſt aber nicht ſo intenſiv als nöthig wäre, um mit dem + E der Platte B den natürlichen Zuſtand zu begründen, und der Unterſchied in der Intenſität beider Elektricitäten iſt deſto größer, je dicker die Harzſchichte iſt. Es bindet darum — E von A nicht die ganze Menge + E von B, und es beſteht + E der Platte B aus zwei Theilen, einem gebundenen und einem freien. Letzterer iſt, wenn A mit dem Finger berührt wird, in Vergleich mit Erſterem ſehr gering, ihm allein hält die Elektricität des zu unterſuchenden Körpers M das Gleichgewicht, und es hat darum die Platte B von M weit mehr Elektricität aufgenommen, als ſie hätte aufnehmen können, wenn die Condenſatorplatte B allein vorhanden geweſen wäre. Aus dieſer Theorie ergibt ſich zugleich die Vorſichtsmaßregel bei der Anwendung des Condenſators jedesmal vorher zu unterſuchen, ob die Firnißſchichte auf den Platten nicht durch früheren Gebrauch elektriſch geworden ſey und deßhalb der Condenſator elektrophoriſch wirke. Cavallo's Collector iſt von dem Condenſator nicht weſentlich verſchieden.

Um ſich den Hergang der Sache deutlich vorzuſtellen, nehme man an, es werde A nicht mit dem Finger berührt, wodurch jede Elektricitätsmenge abfließen kann, ſondern nur mit einem iſolirten Leiter, den man, ſo wie er zurückgeſtoßene + E aufgenommen hat, entfernt, dann entladet, wieder mit A in Contact ſetzt, und ſo fort. So wie nun ein Theil der an die Unterplatte B von M abgegebenen + E gebunden iſt, nimmt dieſelbe von M wieder neue + E auf, dieſe zerſetzt wieder einen Theil der ± E der Platte A, und dadurch wird wieder ein Theil der + E von B gebunden, und ſo geht es fort, bis keine Elektricität von M mehr aufgenommen werden kann. Geſetzt, es verhalte ſich die der Platte B von M zuerſt mitgetheilte $+ E = P$ zu der von dieſer Elektricität gebundenen $- E = Q$ wie $1 : m$, wo $m < 1$ iſt; ſo hat man $mP = -Q$ oder $mP + Q = o$. Nun bindet aber wieder $-Q$ der Platte A von + E der Platte B die Quantität $= P'$, für welche man wieder hat $P' : Q = m : 1$ oder $P' + mQ = o$. Daraus wird aber mittelſt der vorhergehenden Gleichung $P' + m^2 P = o$. Für ſich und ohne Einwirkung der Platte A hätte B von M die Elektricitätsmenge $R = P - P'$ aufgenommen und es iſt darum $R = P - P' = (1 - m^2) P$ und $\frac{P}{R} = \frac{1}{1 - m^2}$. Die Größe $\frac{P}{R}$ gibt die condenſirende Kraft des Inſtrumentes an.

91. Die dem Condenſator beigebrachte Elektricität kann zur Erzeugung neuer Elektricität dienen; läßt ſich dieſe mit der früher erzeugten vereinigen, ſo wird erſtere dadurch verſtärkt. Hierauf beruht Ben-

net's Duplicator, womit Grade der Elektricität, die ſelbſt nach der einfachen Condenſation auf das Elektroſkop zu wirken unvermögend ſind, bemerklich gemacht werden können. Ohne hier auf die Veränderungen einzugehen, die dieſes Inſtrument durch Nicholſon, Bohnenberger und Andere erhalten hat, wird das Princip der Elektricitätsverdopplung, das demſelben zum Grunde liegt, durch folgende Darſtellung klar werden. Es ſeyen B und C zwei gleiche, mit Elektroſkopen verſehene, neben einander ſtehende Condenſator-Unterplatten und A eine darauf paſſende, mit dem iſolirenden Handgriffe verſehene Oberplatte. Man berühre, nachdem man A auf B geſetzt hat, B mit dem Körper, deſſen Elektricität, z. B + E, nachzuweiſen iſt, und zugleich A mit dem Finger; ſo wird in B eine gewiſſe Menge + E durch die in A latent gewordene entſprechende — E gebunden. Man hebe A von B am iſolirenden Griffe hinweg, wodurch die — E in A und + E in B frei werden, und ſetze A auf C; ſo wird die natürliche Elektricität in C durch die — E der Platte A zerſetzt, und wenn man jetzt C mit dem Finger berührt, durch wechſelſeitiges Binden die — E in A und eine entſprechende Menge von neu entſtandener + E in C feſtgehalten. Bringt man nun C mit B mittelſt eines an einem iſolirenden Griffe gehaltenen Metallſtückes in leitende Verbindung, ſo geht ein Theil der in B befindlichen freien + E in C über und wirkt auf die Elektricität in A zerſetzend, ſo daß, wenn man A mit dem Finger berührt, faſt alle + E aus B in C geführt und gebunden wird, während in A eine entſprechende Menge — E latent wird. Es iſt demnach die Menge der in C gebundenen + E, wie auch jene der in A gebundenen — E faſt doppelt ſo groß als früher. Setzt man jetzt wieder A auf B und wiederholt das angegebene Verfahren, d. h. berührt man B mit dem Finger, ſtellt hierauf eine leitende Verbindung zwiſchen B und C her und berührt endlich A mit dem Finger, ſo iſt die Menge der gebundenen + E in B und der gebundenen — E in A wieder größer und nahe das Vierfache der vorigen. So kann man fortfahren und dadurch die gebundene Elektricität der Condenſatorplatten nahe auf das 8-, 16-, 32fache u. ſ. w. ſteigern, wodurch ſich endlich bei dem Abheben von A an dem Elektroſkope der Unterplatte Zeichen freier Elektricität zu erkennen geben. (Ueber den Collector und Duplicator ſ. Gren's Journ. 1. 275. Gilb. Ann. 9. 124; 13. 208; 17. 414; 42. 376.)

Es iſt ſehr ſchwierig, ſelbſt einen guten Leiter von aller elektriſchen Ladung, die er beſitzt, zu befreien. Dieſe vervielfältigt ſich durch das erklärte Verfahren. Daher erfordert der Gebrauch des Duplicators Vorſicht, um nicht zu falſchen Reſultaten zu gelangen und Elektricität zu finden, wo keine vorhanden iſt.

Fünftes Kapitel.

Geſetze der elektriſchen Entladung.

92. Ein Körper, in welchem Elektricität angehäuft iſt, heißt **geladen**; leitet man dieſe durch irgend ein Mittel ab, ſo ſagt man, es erfolgt eine **Entladung**. Im Allgemeinen bewirkt man dieſes dadurch, daß man dem Sitze der elektriſchen Ladung bis zur Schlagweite oder gar bis zur Berührung einen nicht iſolirten Leiter nähert. Der Uebergang der Elektricität in der Schlagweite findet durch die Luft oder einen andern flüſſigen oder feſten Iſolator Statt und in dieſem Zuſtande iſt er meiſtens mit einer Lichterſcheinung begleitet.

93. Die Körper, in welchen vorzugsweiſe Elektricität angehäuft erſcheint, ſind der **Conductor** einer Elektriſirmaſchine und die **Leidnerflaſche** oder elektriſche **Batterie**. Die Geſetze der elektriſchen Entladung werden ſich demnach an dieſen am beſten darſtellen laſſen. Es muß aber gleich vorhinein darauf hingewieſen werden, daß ſich hierin das Verhalten eines Conductors von dem einer Leidnerflaſche oder Batterie weſentlich unterſcheiden muß, da in erſterem nur eine der beiden Elektricitäten vorhanden iſt und die Anſammlung der Elektricität daſelbſt nicht ſo regelmäßig vor ſich geht, wie in einer Leidnerflaſche, die zugleich beide Elektricitäten enthält, deren eine gegen die andere hin ausgeladen werden kann.

94. Bis vor wenigen Jahren wußte man nicht, ob die Elektricität, wenn ſie in einem guten Leiter fortgeführt wird, dazu eine Zeit benöthigt oder ob dieſe Fortpflanzung momentan erfolgt. **Wheatſtone** hat durch einen ſehr ſinnreichen Verſuch die ſucceſſive Fortpflanzung der Elektricität in einem guten Leiter bewieſen und ſogar die Geſchwindigkeit derſelben numeriſch beſtimmt. Er hat die Elektricität einer geladenen Leidnerflaſche durch einen ſehr langen Kupferdraht geleitet, der ſowohl nächſt der beiden Belegungen, als in der Mitte unterbrochen war, und die Einrichtung ſo getroffen, daß wahrgenommen werden konnte, ob die an den Unterbrechungsſtellen erſcheinenden Funken gleichzeitig auftreten oder nicht. Er berechnete aus der Verſpätung des in der Mitte des Drahtes erſcheinenden Funken, daß beſagte Elektricität in einem Kupferdrahte in einer Secunde 288.000 engl. Meilen zurücklege.

Wheatſtone ſtellte die Unterbrechungen des Leitungsdrahtes, woran die Zeitpuncte des Eintretens des Entladungsfunkens beobachtet werden ſollten, in eine gerade Linie, und ließ einen kleinen ebenen Spiegel ſich um eine dieſer Linie parallele Axe ſehr ſchnell drehen. Durch ein mit dem Spiegel zugleich ſich drehendes Metallſtück wurde die Entladung der Leidnerflaſche in dem Augenblicke bewerkſtelliget, in welchem der Spiegel in einer ſolchen Lage ſich befand, daß die Unterbrechungen des Leitungsdrahtes darin geſehen werden konnten. Da aber das Bild eines Gegenſtandes, das man in einem Spiegel ſieht, ſich verſchiebt, wenn ſich der Spiegel dreht, und zwar in einer gegen die Axe des Spiegels ſenkrechten Richtung, ſo mußte jeder Funke an den genannten Stellen um ſo mehr verlängert erſcheinen, je länger er dauerte und je ſchneller der Spiegel ſich bewegte, und wenn zwei dieſer Funken nicht

gleichzeitig, ſondern nach einander ſich einſtellten, ſo mußte das Bild des ſpäteren gegen jenes des früheren ſich in dem genannten Verhältniſſe nach der Richtung der Drehung des Spiegels verſchoben zeigen. Aus optiſchen Gründen folgt (ſiehe die Lehre vom Lichte), daß das Zeitintervall zwiſchen dem Erſcheinen der zwei Funken ſich zur Dauer einer Umdrehung des Spiegels verhält, wie die Hälfte der Verſchiebung des Bildes im Bogenmaße zu 360°. Nach Wheatſtone's Beobachtung zeigten die den Drahtenden nächſt den Belegungen entſprechenden Funken keine merkliche Verſchiebung; der Funke in der Mitte aber trug das Merkmal der Verſpätung an ſich. Bei einer Drahtlänge von ½ engl. Meile und 800 Umläufen des Spiegels in der Secunde betrug die Verſchiebung ½ Grad; es war ſonach die Zeit, welche die Elektricität brauchte, um ¼ engl. Meile zurückzulegen $= \frac{\text{½ Sec.}}{2.800.360}$, was auf eine Geſchwindigkeit von 800.360 = 288.000 engl. Meilen in 1 Secunde ſchließen läßt.

Wheatſtone's Verſuch liefert zugleich auch den Beweis, daß bei der Entladung einer Leidnerflaſche gleichzeitig von jeder der beiden Belegungen eine Wirkung ausgeht oder mit andern Worten, daß da zwei Entladungen in entgegengeſetzten Richtungen auf einmal Statt haben.

95. Es iſt klar, daß der durch Annäherung eines guten Leiters bewirkten Entladung immer eine Elektriſirung des Leiters durch Vertheilung vorausgeht, die deſto ſtärker iſt, je mehr Elektricität am vertheilenden Körper ſich befindet, je mehr die Form der auf einander wirkenden Körper die Anhäufung der Elektricität an den einander zugekehrten Stellen begünſtiget und je mehr ſich das iſolirende Zwiſchenmittel dem Durchgange der Elektricität widerſetzt. Die Entladung ſelbſt geht erſt bei einem gewiſſen Grade der Ladung ſowohl des vertheilenden, als des durch Vertheilung elektriſirten Körpers vor ſich und iſt nach Umſtänden von wirklichen Funken oder von ſogenannten Lichtbüſcheln oder nur von einem Glimmen begleitet; es gibt aber auch Fälle ganz dunkler Entladungen.

96. Gewöhnlich iſt der ſchlecht leitende Zwiſchenkörper bei elektriſchen Entladungen Luft. Wenn dieſe dem Andrange der Elektricität nicht mehr widerſtehen kann, ſo erfolgt die Entladung. Die Schlagweite oder was daſſelbe heißt, die Funkenlänge, iſt daher deſto größer, je kleiner bei einerlei Ladungsſtärke die ſich gegenüberſtehenden Leitungsflächen ſind und je mehr Elektricität auf eine Flächeneinheit derſelben kommt. Zuſchärfung der Leitungsflächen vermehrt die Schlagweite, Verdichtung der Luft hat eine Verminderung derſelben zur Folge und wenn man bei verdichteter Luft dieſelbe Schlagweite erzielen will, wie bei Luft von natürlicher Dichte; ſo muß man die elektriſche Ladung im Verhältniſſe der Verdichtung ſteigern. In ſehr verdünnter Luft kann daher ſchon bei ſehr geringer Ladung eine Entladung in großer Entfernung Statt finden. Erwärmung der Luft hat auf die Schlagweite keinen Einfluß, wenn ſie nicht eine Verdünnung dieſes Mediums zur Folge hat.

Findet die Entladung ſtatt durch atmoſphäriſche Luft durch ein

anderes Gas Statt, ſo iſt die Schlagweite ſelbſt bei derſelben Ladung und derſelben Dicke der Gasſchichte eine andere. Im Waſſerſtoffgas iſt die Schlagweite am größten, im ölbildenden oder Chlorwaſſerſtoffgaſe am kleinſten. Ein Conductor einer Elektriſirmaſchine gibt bei negativer Ladung kürzere Funken, als bei poſitiver.

Aus dem Vorerwähnten ſieht man, daß die Schlagweite nicht von der Größe des Druckes abhängt, den das den elektriſchen Körper umgebende gasförmige Mittel auf denſelben ausübt; eben dieſes gilt von der Dichte der Gaſe. Dieſes deutet abermals darauf hin, daß die Elektricität an den Körpern nicht durch den Druck oder durch die iſolirende Kraft der Gasatmoſphäre feſtgehalten werde, wie auch ſchon früher (72) erwähnt worden.

97. Eine geladene Leidnerflaſche oder Batterie enthält immer an jeder der beiden Belegungen Elektricität und das Verhältniß derſelben zu einander beſtimmt ihre vollkommene Ladung. Berührt man eine Belegung nach der andern mit einem nicht iſolirten Leiter, ſo wird zwar bei jeder Berührung ein Theil der Elektricität abgeleitet, aber das Verhältniß der Elektricitäten beider Belegungen bleibt ungeändert und die Ladung iſt daher noch immer eine vollkommene, wenn auch dem Grade nach geringere. So wie man aber beide Belegungen zugleich mit einem Auslader berührt, ſo verliert jede gleich viel von ihrer Elektricität und das zur vollkommenen Ladung nöthige Verhältniß beider Elektricitäten iſt geſtört Befindet ſich ein Leiter mit einer Belegung in Berührung, während er von der andern weniger abſteht, als die Schlagweite beträgt, und man ladet dann die Flaſche; ſo entladet ſie ſich ſchon während des Ladens (Lane'ſche Flaſche) und man kann durch Regulirung jener Diſtanz ein Mittel erhalten, der Ladung eine beſtimmte Stärke zu geben. Uebrigens verliert eine ſolche Flaſche nicht bei einmaliger Entladung ihre ganze Elektricität, ſondern nur einen Theil derſelben; zur Entladung des zurückbleibenden Theiles iſt eine größere Annäherung des Leiters an die Belegung nöthig und ſo kommt es, daß ein vollſtändiges Entladen durch einen die Belegung nicht völlig berührenden Leiter unmöglich iſt. Selbſt die bei jeder ſolchen einzelnen Entladung verſchwindende Elektricität würde geringer ſeyn, als ſie wirklich iſt, wenn nicht der vorangehende Funke eine Luftverdünnung zur Folge hätte, welche die fernere Entladung erleichtert. Sonſt iſt die bei Entladung einer Flaſche oder Batterie verſchwindende Elektricitätsmenge in der Schlagweite dieſelbe, der Auslader mag aus was immer für einem Metall beſtehen. (Rieß in Pogg. Ann. 40. 321. *Harris* in Phil. transact. 1834.)

98. Der elektriſche Funke, er mag nun von dem Conductor einer Maſchine oder von einer Leidnerflaſche kommen, hat immer eine eigenthümliche zickzackförmige Geſtalt, wahrſcheinlich weil die Stellen in der Luft, die ſeinen Durchgang am meiſten begünſtigen, nicht in einer geraden Linie liegen. Merkwürdig iſt ſeine Farbe. In der Luft erſcheint er blau, oft mit ſchwächer leuchtenden oder gar dunklen Stellen, in Stickgas von mehr intenſiv blauer oder purpurrother Farbe,

im Sauerſtoffgas mehr weiß, im Waſſerſtoffgas carmoiſinroth, in Kohleuſäuregas grünlichblau, in Salzſäuregas faſt weiß ohne eine dunkle Stelle, in Steinkohlengas zuweilen grün, zuweilen ſtückweiſe grün und roth zugleich, mit ſtark dunklen Stellen, im Waſſerdampf gelb, im Alkoholdampf apfelgrün.

99. Geht die Entladung zwiſchen zwei ſchlechten Leitern oder zwiſchen einem guten und einem ſchlechten Leiter vor ſich, ſo iſt ſie von Lichtbüſcheln begleitet. Wenn man auf den Conductor einer Maſchine eine Spitze aufſetzt und ihn dann ladet, ſo erfolgt die Entladung durch die Spitze in die Luft in ſolchen Büſcheln. Beſonders ſchön iſt dieſes Phänomen in verdünnter Luft. Uebrigens erhält man es aus einem poſitiv geladenen Körper leichter, als aus einem negativ geladenen; auch ſind die dunklen Stellen in letzterem Falle viel zahlreicher, als in erſterem. Lichtbüſchel haben im Allgemeinen die Form Fig. 224, doch iſt auch an der Geſtalt derſelben ein Unterſchied bemerklich, je nachdem ſie von einem poſitiv oder negativ geladenen Körper kommen. Ungeachtet ein ſolcher Büſchel auf den erſten Blick in ſeinen Theilen zuſammenhängend zu ſeyn ſcheint, ſo kann man ſich doch, wenn man den Augapfel (nicht den Kopf) ſchnell genug quer durch denſelben hinführt, überzeugen, daß er aus einer Anzahl in einer Reihe ſtehender leuchtender Linien beſteht, deren jede das Reſultat einer beſonderen Entladung iſt. In verſchiedenen Gaſen erſcheinen ſolche Büſchel auch verſchieden und beſonders tritt der Unterſchied zwiſchen zwei Büſcheln in einigen Gaſen ſtark hervor. So z. B. iſt in Luft und in Stickgas der poſitive Büſchel viel größer als der negative, in Waſſerſtoffgas tritt dieſer Unterſchied ſchwächer hervor, in Steinkohlengas, Kohlenſäure- und Salzſäuregas, beſonders aber in Sauerſtoffgas verſchwindet er faſt gänzlich.

100. Manchmal iſt die elektriſche Entladung nur von einem phosphorescirenden Glimmen der Ausſtrömungsſtelle begleitet. Dieſes iſt beſonders der Fall, wenn die Entladung aus einer ſtumpfen coniſchen Spitze in verdünnter Luft vor ſich geht; in der Luft von natürlicher Dichte bemerkt man dieſes Phänomen nur an poſitiv elektriſchen Körpern. Oft geht das Glimmen in ein Lichtbüſchel oder gar in einen Funken über, doch erfolgt dieſer Uebergang nicht unter allen Umſtänden gleich leicht. Im Allgemeinen kann man ſagen, daß ein ununterbrochenes Entladen mit reinem Glimmen, ein unterbrochenes nach Maßgabe der kleineren oder größeren Spannung des geladenen Körpers mit Büſcheln oder Funken vor ſich geht.

101. Entladungen mit Funken oder Büſchel ſind immer mit einem Geräuſche verbunden, ja das Entladen einer ſtark geladenen Leidnerflaſche oder Batterie iſt oft von einem förmlichen Knalle begleitet; nur das Glimmen geht ruhig und geräuſchlos vor ſich. Es findet aber dabei eine Art Luftbewegung oder Wind Statt, der geradezu von der glimmenden Stelle ausgeht oder gegen dieſelbe hin gerichtet iſt.

102. Bekanntlich verlieren ſowohl der Conductor einer Maſchine, als eine Leidnerflaſche von ſelbſt ſucceſſiv ihre Ladung, ohne daß man

irgend eine Lichterſcheinung bemerken kann, welches beweiſet, daß es auch dunkle Entladungen gibt. Dahin gehört ſchon der dunkle Raum, der ſich oft zwiſchen den Theilen der Lichtbüſchel oder ſelbſt der Funken befindet.

103. Da die einen geladenen Körper umgebenden flüſſigen Körper Elektricität aufnehmen und ſich dann vermög ihres gleichnamigen elektriſchen Zuſtandes abſtoßen; ſo kann es geſchehen, daß in einem flüſſigen Medium ſogar ein Fortführen materieller Theile im Entladungswege vor ſich geht. Der elektriſche Wind gehört in dieſe Categorie. Er wird leicht durch Spitzen hervorgebracht und gibt Veranlaſſung zu dem ſogenannten elektriſchen Flugrade und vielen andern Spielwerken. Benetzt man die Kugel, womit gewöhnlich der Conductor einer Maſchine endiget, mit Gummiwaſſer, ſo bildet ſich davon leicht ein zäher Tropfen; dreht man dann die Maſchine, ſo nimmt dieſer eine coniſche Geſtalt mit concaven Seiten an, zeigt an der Spitze ein Glimmen und es geht davon ein ſo ſtarker Wind aus, daß eine darunter gehaltene Waſſerfläche eingedrückt werden kann; bei ſtarker Ladung kann ſogar ein Theil dieſes Tropfens fortgeriſſen werden. Negative Elektricität dehnt den Tropfen zu einem größeren Kegel aus, als poſitive und dieſer wird von einer entgegen gehaltenen Spitze weniger afficirt, als wenn er durch + E hervorgebracht wird. Schlecht leitende Flüſſigkeiten, wie z. B. geſchmolzenes Siegellack, Terpentinöhl ꝛc. ſtatt des Gummiwaſſers gebraucht, werden in Fäden ausgezogen und fortgeführt.

104. Die Körper, durch welche die elektriſche Entladung erfolgt, erfahren oft beſondere Wirkungen derſelben. Schon der aus dem Conductor einer Maſchine fahrende Funke erregt eine eigenthümliche krampfhafte Zuſammenziehung der Muskeln und eine merkliche Erſchütterung der Organe, durch welche er ſeinen Weg nimmt; noch größer ſind dieſe Wirkungen bei Entladung einer Leidnerflaſche. Faßt man die äußere Belegung mit der einen Hand und nähert man die andere dem Knopfe, ſo fühlt man bei der Entladung eine Erſchütterung in den Armgelenken (elektriſcher Schlag), deren Stärke von der Größe der Ladung abhängt und bei einer Batterie leicht gefährlich werden kann. Selbſt größere Thiere können dadurch getödtet werden. Dieſer Schlag geht durch eine Reihe Perſonen hindurch, die ſich bei den Händen faſſen, wenn die äußerſten mit den beiden Belegungen einer Flaſche in leitende Verbindung geſetzt werden. Auf ähnliche Weiſe läßt er ſich auch in einer beliebigen Richtung durch den Körper eines Menſchen leiten. Bietet man ihm zugleich mehrere Wege dar, ſo theilt er ſich unter ſie nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit. Daher kann man eine geladene Flaſche ohne Scheu entladen, wenn man einen Draht von angemeſſener Dicke hinter ſeinen Enden mit den Händen faßt und die beiden Belegungen mit den Drahtenden berührt; der bei weitem größte Theil der Ladung geht durch den Draht, und was durch den Körper geht, iſt unmerklich. Der Leitungsfähigkeit des Bodens und der dadurch eingeleiteten Theilung des Schlages iſt es zuzuſchreiben, wenn bei einer ſehr langen Kette

von Perſonen die in der Mitte befindlichen den Schlag nicht fühlen, während die äußerſten ihn erhalten. Eine beſondere Beachtung verdienen die mechaniſchen Wirkungen der Entladung einer kräftigen Batterie. Leitet man den Schlag mittelſt zweier etwas von einander abſtehenden Drähte durch die Aushöhlung eines kleinen Mörſers, den man mit einem Korkpfropfe verſchloſſen hat, ſo wird der Pfropf mit Gewalt herausgetrieben. Eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre, in welche beiderſeits Drähte, bis auf einen Abſtand von etwa $1/_2$ Zoll eingeſetzt ſind, wird unter gleichen Umſtänden zerſprengt. Dasſelbe geſchieht ſogar mit einer Glaskugel, deren Wände 1 Zoll dick ſind und in welcher ein Waſſertropfen eingeſchloſſen iſt, wenn die Entladung ihren Weg durch dieſen nimmt. Papier, Holz, Glas ꝛc. in den Schließungskreis einer Batterie gebracht, werden durchbohrt. Bemerkenswerth iſt dabei der Umſtand, daß ein im Entladungswege befindliches Staniolblättchen in der Luft und andern iſolirenden Flüſſigkeiten an zwei Stellen zugleich durchſchlagen wird. (Oſan in Pogg. Ann. 55. 121.)

105. Schon der Funke einer Elektriſirmaſchine zündet Schwefeläther, Knallluft (elektriſche Piſtole, Zündmaſchine), der einer kleinen Leidnerflaſche Colophoniumſtaub und, wenn die Entladung durch eine in den Auslader eingeſchaltete naſſe ſeidene Schnur oder ein anderes Hinderniß verzögert wird, auch Schießpulver.

106. Merkwürdig iſt die Erhitzung, welche ein Draht erfährt, durch welchen die Ladung einer Flaſche oder Batterie geführt wird und durch die er glühend gemacht, ja ſogar geſchmolzen und gar in Staub zertheilt werden kann. Die entwickelte Wärme iſt abhängig von der Oberfläche der Batterie und der entladenen Elektricitätsmenge. Je größer erſtere und auf eine je kleinere Fläche die vorhandene Elektricität zuſammengedrängt iſt, deſto mehr Wärme wird erregt. Die Erwärmung eines Drahtes iſt bei derſelben Entladung nach Maßgabe ſeiner Natur und ſeiner Dimenſionen verſchieden. Gleich lange, ungleich dicke Drähte derſelben Natur werden durch dieſelbe Entladung ungleich erhitzt und zwar richtet ſich ihre Temperaturerhöhung nach dem verkehrten quadratiſchen Verhältniſſe ihrer Querſchnitte. Von der Länge des Drahtes iſt die Erwärmung desſelben unabhängig, aber einen um ſo größeren Einfluß hat darauf ſeine materielle Beſchaffenheit. Gleich dicke Drähte verſchiedener Natur erleiden nämlich durch dieſelbe Entladung ſehr verſchiedene Erwärmungen und es muß ein Draht, um erwärmt zu werden, dem Durchgange der Elektricität immer einigen Widerſtand entgegenſetzen, ſo daß man von der Größe der Erwärmung, welche Drähte von verſchiedener Natur und gleichen Dimenſionen durch dieſelbe Entladung erfahren, auf ihr Vermögen, die Elektricität zu verzögern, ſchließen kann.

Nach Rieß, der dieſen Gegenſtand einer ſtrengen wiſſenſchaftlichen Unterſuchung unterzogen hatte, ergeben ſich auf benanntem Wege die Werthe des elektriſchen Verzögerungsvermögens verſchiedener Metalle, jenes des Platins zur Einheit angenommen, wie folgt:

Silber	0.1043	Eiſen	0.8789
Kupfer	0.1552	Platin	1.0000
Gold	0.1746	Zinn	1.183
Cadmium	0.4047	Nickel	1.180
Meſſing	0.5602	Blei	1.503
Palladium	0.8535	Neuſilber	1.752

(Rieß in Pogg. Ann. 40. 321; 43. 47; 45. 1. Dove's Repertorium 6. 189.)

107. Indem die Elektricität bei einer Entladung längs der Oberfläche eines Körpers hinfährt, bringt ſie oft daſelbſt ſehr merkwürdige Wirkungen hervor, die wahrſcheinlich von einer chemiſchen Veränderung derſelben herrühren. Leitet man z. B. den bei der Entladung einer Batterie erſcheinenden Funken aus einem in Spitzen auslaufenden Schließungsdrahte über die Oberfläche einer gut gereinigten trockenen Glasplatte, ſo daß er von einem Rande zum andern fortgeht; ſo erſcheint das Glas längs des ganzen Weges, den die Elektricität genommen hat, leitend, und wenn man es anhaucht, ſo ſchlägt ſich daſelbſt kein Thau nieder und der ganze Weg wird ſichtbar. Noch ſchöner wird das Phänomen, wenn man ſtatt der Glasplatte Glimmer nimmt. Da erſcheint der Weg des elektriſchen Funkens in ſchönen Figuren, die auf beiden Seiten der Platte von ganz gleicher Art ſind. Sie laſſen ſich lange Zeit, ſelbſt Jahre lang erhalten. Karſten hat dieſe Wirkung der elektriſchen Entladung dazu benützt, um elektriſche Abbildungen ähnlich den ſogenannten Daguerreotypen, zu erhalten. Er legte eine Münze auf Spiegelglas, das ſeinerſeits auf Metall ruhte, und ließ vom Conductor einer Elektriſirmaſchine ſchnell hinter einander Funken darauf ſchlagen, entfernte dann die Münze und behauchte die Glastafel. Da erſchien nun ihr Bild mit den kleinſten Details und konnte weder durch Erwärmen noch durch Abreiben, ſelbſt nicht durch Zuleitung entgegengeſetzter Elektricität verwiſcht werden. Aehnliche Bilder erhielt Karſten auch auf polirten Metallplatten, doch fand er es da nöthig, zwiſchen der Münze und der Metallplatte eine Platte von Glimmer einzuſchalten. Statt die Stelle der Metallplatte, wo ſich das Bild erzeugen ſoll, anzuhauchen, kann man ſie auch Joddämpfen ausſetzen. Bringt man ſie hierauf in Sonnenlicht, ſo ſchwärzt ſich der Theil, wo ſich das Bild befindet, weniger als die Umgebung, und erſteres tritt um ſo deutlicher hervor. Auf einer polirten Silberplatte erſcheint das durch zahlreiche Funkenſchläge erzeugte Bild ſelbſt ohne vorläufiges Anhauchen oder Jodiren. (Karſten in Pogg. Ann. 57. 493; 58. 115.)

108. Ganz unzweideutige chemiſche Wirkungen werden durch elektriſche Entladungen im Waſſer hervorgebracht, indem dieſes förmlich in ſeine Beſtandtheile, Sauerſtoff und Waſſerſtoff, zerlegt wird und jeder derſelben in Gasform erſcheint. Schmilzt man einen dünnen Platindraht in ein gläſernes Haarröhrchen ſo ein, daß wenn man ein Ende deſſelben abſchleift, das Drathende wie ein feiner Kern in der Mitte der Röhre erſcheint, während am andern Ende der Glasröhre ein gutes Stück des Drahtes hervorragt, ſtellt man zwei ſolche Röhren

in ein Gefäß mit luftfreiem deſtillirten Waſſer, ſo daß die beiden Platinſpuren etwa 1—2 Linien von einander abſtehen, läßt endlich elektriſche Funken vom Conductor einer guten Maſchine durchſchlagen oder entladet eine Leidnerflaſche öfter hinter einander durch die Platindrähte und die ſie trennende Waſſerſchichte; ſo ſieht man bald Bläschen an jedem Platinende erſcheinen, die man auch durch darüber geſtürzte kleine Recipienten auffangen kann. Thut man dieſes, ſo findet man, daß ſich an der Spitze, durch welche die poſitive Elektricität ins Waſſer eintritt, Sauerſtoffgas, an der andern Waſſerſtoffgas ſammelt. Leichter als Waſſer läßt ſich durch eine Reihe von Entladungen Jodkalium oder ſchwefelſaures Natrum zerſetzen. Bringt man ein Stück Lackmuspapier, verbunden mit einem Streifchen Curcumepapier, beide mit Glauberſalzlöſung befeuchtet, zwiſchen zwei Platindrähte, wovon einer mit dem Conductor der Elektriſirmaſchine, der andere mit dem Reibzeuge in leitender Verbindung ſteht; ſo zeigen ſich ſchon nach einigen Umdrehungen der Scheibe an der Eintrittsſtelle der poſitiven Elektricität, wo ſich das Lackmuspapier befinden muß, Spuren von Säure, an der Eintrittsſtelle der negativen Elektricität Spuren von Alkali. Man kann auch die Verbindung mit dem Reibzeuge aufheben und die Elektricität nur durch eine entgegengeſetzte Spitze ableiten.

109. Sehr merkwürdig iſt die magnetiſirende Wirkung einer elektriſchen Entladung. Man weiß ſchon ſeit geraumer Zeit, daß eine Stahlnadel, durch welche man der Länge nach magnetiſche Entladungen gehen läßt, magnetiſch werde. In der neueſten Zeit hat aber Peltier bewieſen, daß hierbei die Elektricität bloß durch die Erſchütterung wirke, welche ſie in der Nadel erzeugt, und ſomit den mechaniſch wirkenden Mitteln beigezählt werden müſſe, von denen (35) die Rede war. Allein es gibt einen magnetiſirenden Einfluß elektriſcher Entladungen, bei welchen die E an der zu magnetiſirenden Materie nur vorbeigeht und von einer rein mechaniſchen Wirkung nicht die Rede ſeyn kann. Bringt man über einem horizontalen langen Drahte dünne und kurze Stahlſtücke in einer auf dem Drahte ſenkrechten Richtung ſo an, daß ſie eine ungleiche Entfernung vom Drahte haben, und entladet dann durch dieſen Draht eine Leidnerflaſche oder Batterie; ſo findet man die Stahlſtücke magnetiſch, aber die gleichnamigen Pole liegen nicht bei allen an derſelben Seite, ſondern abwechſelnd nach der einen und der entgegengeſetzten ſo, daß wenn z. B. das der Entladungsſtelle nächſte Stäbchen den Nordpol an der rechten Seite hat, dieſes wohl auch noch beim zweiten, dritten ꝛc. der Fall iſt, jedoch iſt ihre Kraft deſto ſchwächer, je weiter ſie vom erſten entfernt ſind; hierauf folgt aber eine Reihe, an denen der Nordpol links liegt, auf dieſe wieder eine andere mit rechts liegenden Nordpolen u. ſ. f. Die Anzahl dieſer Abwechslungen hängt, nach Savary, der dieſes Phänomen entdeckt hat, von der Stärke der Entladung, von der Länge des Leitungsdrahtes, von den Abmeſſungen der Stahlſtücke und von ihrer Coercitivkraft ab. Derſelbe Gelehrte hat gefunden, daß die Länge und Stärke der Pole eines Drahtſtückes auch durch die Subſtanz modifi-

cirt werde, in die man es einhüllt. Eine dicke Kupferplatte hemmt die magnetiſirende Kraft der Entladung ganz, eine dünne unterſtützt ſie. Eben ſo wirken auch andere Metalle. Nach Moll wird die hemmende Kraft einer Metallhülle aufgehoben, wenn man ſelbe mit einigen kleinen Löchern verſieht; Elfenbein, gebrannter Thon, Stein, Holz laſſen dieſe Wirkung ungehindert durch. An dünnen Dräthen kann, nach Rieß, der Nordpol bald links bald rechts liegen, je nachdem die Entladung ſtärker oder ſchwächer iſt. Eine ſehr namhafte Magnetiſirung erfährt eine Stahlnadel, wenn man ſie in eine Drahtſpirale legt und durch letztere eine Leidnerflaſche entladet. (Savary in Pogg. Ann. 9. 443; Moll in Zeitſchr. 6. 342; Rieß in Pogg. Ann. 47. 58.)

Obgleich die Anziehungskraft des geriebenen Bernſteines bereits im Alterthume bekannt war, ſo ſtammt doch alle unſere Kenntniß der Elektricitätslehre nur aus den letzten zwei, ja eigentlich nur aus dem letzten Jahrhundert. Erſt um das J. 1600 ſtellte Gilbert einige Verſuche über das Elektriſchwerden anderer Körper an, und es vergingen, ungeachtet der Theilnahme von Otto Guerike, Newton, Hawksbee u. A. an dieſem Gegenſtande, mehr als hundert Jahre, bis die Elektricitätslehre den Zuſtand der erſten Kindheit überſchritt. Im J. 1708 machte Well auf den elektriſchen Funken aufmerkſam, und 1729 wurde erſt der Unterſchied zwiſchen Iſolatoren und Leitern durch Gray, und bald darauf jener zwiſchen Glas- und Harzelektricität durch Dufay bekannt. Das Jahr 1745 zeichnet ſich durch die gleichzeitig von Kleiſt in Deutſchland und Cunäus und Muſſchenbröck in Holland gemachte Entdeckung der Erſcheinungen der verſtärkten Elektricität, d. i. der elektriſchen Flaſche aus; dieſer folgte auf dem Fuße die Enthüllung des Herganges der elektriſchen Vertheilung durch Canton, Franklin, Aepinus, Wilke. Im J 1775 gab Volta den Elektrophor, 1738 den Condenſator an. Die Einführung der Elektriſirmaſchine in den phyſikaliſchen Apparat verdankt man dem Leipziger Prof. Hauſen (1743); die Scheibenmaſchine hat man ſeit 1766, zu welcher Zeit ſie von Ramsden in London nach Ingenhouß Angabe zuerſt verfertiget wurde. Die Reibungselektricität, auch im Gegenſatze mit dem im Folgenden zu beſprechenden Galvanismus, die gemeine Elektricität genannt, wurde im Verlaufe dieſes Jahrhunderts nur wenig cultivirt; in unſeren Tagen aber haben Rieß, Harris und Faraday das Studium der Erſcheinungen der Elektriſirmaſchine und der elektriſchen Batterie wieder aufgenommen.

Ueber dieſes Kapitel iſt vorzüglich lehrreich: Faraday in Pogg. Ann. 47. 33, 271, 529; 48, 269, 424, 513.

Sechstes Kapitel.

Theoretiſche Anſicht über den objectiven Grund der Elektricität.

110. Schon zur Zeit, als die Elektricitätslehre nicht einmal alle bisher aufgezählte Erſcheinungen und Geſetze umfaßte, fühlte man die

Nothwendigkeit, über den objectiven Grund derſelben eine Hypotheſe aufzuſtellen, ungeachtet man noch keine Hoffnung nähren durfte, ſie zur wahren Urſache dieſer Erſcheinungen erheben zu können. Um ſo mehr muß ein ſolches Aushülfsmittel heut zu Tage Noth thun, wo ſo viele neue Thatſachen und Geſetze zugewachſen ſind und auch der Schleier immer mehr gelüftet wird, welcher das Verhältniß der Elektricität zu den übrigen Naturkräften bisher gänzlich verhüllt hat.

Bald nach dem Beginne wiſſenſchaftlicher Forſchung im Gebiete der Elektricitätslehre haben ſich zwei Anſichten über das Weſen des elektriſchen Princips geltend zu machen geſucht. Beide gaben den elektriſchen Erſcheinungen eine materielle Baſis; aber während die eine ſie auf die Wirkſamkeit einer einzigen Materie zurückführen will, bemühte ſich die andere zu zeigen, daß dieſes nur durch zwei derſelben geſchehen kann. Die Anhänger der erſtern Hypotheſe werden Unitarier, die der anderen Dualiſten genannt. Die meiſten Phyſiker haben bisher eine dieſer beiden Anſichten adoptirt, und gegenwärtig ſcheint ſich die Mehrzahl der dualiſtiſchen Anſicht zuzuwenden, nicht ſo ſehr, als wenn man ſelbe an und für ſich für die zuläßigſte Hypotheſe hielte, als weil ſie unter den zwei gangbarſten Anſichten den Phänomenen am meiſten genügt. Die Annahme einer materiellen Grundlage dort, wo ſich dieſelbe durch gar kein directes Merkmal nachweiſen läßt, bleibt aber immer eine mißliche Sache und man vergißt dabei nur gar zu leicht, daß eine Vorſtellungsweiſe, welche uns das Auffaſſen von Erſcheinungen am meiſten erleichtert, darum nicht auch ſchon in der Natur begründet ſeyn müſſe. Die in der neueſten Zeit Statt gefundenen Beſtrebungen Faraday's ſcheinen auf einen viel naturgemäßern Weg zu führen und verdienen beſondere Beachtung und weitere Ausbildung.

111. Das dualiſtiſche Syſtem, als deſſen Urheber man den Engländer Robert Symmer anſieht, poſtulirt die Exiſtenz zweier eigenthümlichen, unwägbaren, ungemein feinen oder ätheriſchen Materien (Flüſſigkeiten), deren eine die poſitive, die andere die negative elektriſche Materie genannt wird. Die Theilchen jedes einzelnen dieſer Stoffe ſtoßen einander ab, aber die Theilchen des einen ziehen die Theilchen des andern an, und zwar befolgt ſowohl die Anziehung als die Abſtoßung das Geſetz des verkehrten Quadrates der Diſtanzen. In ſo fern dieſe elektriſchen Materien an den Körpern haften, entſtehen bewegende Kräfte, welche nach Umſtänden die Körper gegen einander zu führen oder von einander zu entfernen ſtreben. Die Körper enthalten im natürlichen oder nicht elektriſchen Zuſtaude beide elektriſchen Materien gleichförmig mit einander gemengt; befindet ſich aber an einer Stelle eines Körpers mehr von poſitiver als von negativer Materie, ſo zeigt ſich dort freie poſitive Elektricität, und eben ſo tritt dort, wo das negative Fludium das Uebergewicht behauptet, freie negative Elektricität auf. So weit verhält ſich die Sache gerade ſo, wie in der Theorie des Magnetismus die Action der dort poſtulirten magnetiſchen Flüſſigkeiten; allein hier wird zur Erklärung der elektriſchen Phänomene die Vorausſetzung gemacht, daß die elektri-

ſchen Materien nicht wie die magnetiſchen bloß an den Bereich eines Körpertheilchens, woran ſie vorkommen, gebunden ſeyen, ſondern von einem Theile eines Körpers zu dem andern wirklich übergehen können, in guten Leitern ſehr leicht, in ſchlechten Leitern nur äußerſt ſchwer, in Halbleitern ſo, wie es eben der größere oder geringere Widerſtand geſtattet, den die materielle Beſchaffenheit des Körpers der Bewegung der elektriſchen Flüſſigkeiten entgegenſetzt. Körper, die im natürlichen Zuſtande ſind, zeigen zu einander weder Anziehung noch Abſtoßung, denn beide entgegengeſetzten Kräfte beſtehen da in gleichem Grade; hat aber ein Körper freies Fluidum, z. B. poſitives (+E), ſo wirkt dieſes zerſetzend auf das natürliche Gemenge beider elektriſchen Subſtanzen eines unelektriſchen Körpers, es wird nämlich das Fluidum entgegengeſetzter Art (—E) herangezogen, das gleichnamige (+E) zurückgedrängt. Hierin beſteht die Vertheilung, deren Ergebniß von dem Umſtande abhängt, ob der Körper ein guter oder ſchlechter Leiter iſt. Iſt der Körper, der die Vertheilung erfährt, beweglich, ſo wird er gegen den elektriſchen Körper hingezogen, in Folge der überwiegenden Action der ungleichnamigen, einander näher gerückten Flüſſigkeiten. In einem Leiter begibt ſich die ihm beigebrachte freie Elektricität ſtets auf die Oberfläche, in Folge der jeder der elektriſchen Materien inwohnenden Repulſivkraft.

112. An der Spitze der Unitarier ſteht Franklin, wohl auch Aepinus, dem das Syſtem des erſteren eine weitere Ausbildung verdankt. Nach der Anſicht dieſer Gelehrten gibt es bloß eine elektriſche Materie, von der jeder Körper in ſeinem natürlichen Zuſtande ein gewiſſes Quantum enthält. Nimmt der Körper mehr als dieſes Quantum auf, ſo erſcheint er poſitiv elektriſch; ſinkt ſein Gehalt an elektriſcher Materie unter dieſes Quantum herab, ſo erſcheint er negativ elektriſirt. Deßhalb heißt auch der poſitive Zuſtand jener des Ueberfluſſes, der negative jener des Mangels. Die Theilchen der elektriſchen Materie ſtoßen einander ab, die Körpertheile aber wirken anziehend darauf; der erſteren Kraft iſt die elektriſche Vertheilung zuzuſchreiben. Der Ueberfluß an elektriſcher Materie eines Körpers ändert nämlich durch ſeine überwiegende Repulſion die natürliche Vertheilung der elektriſchen Materie eines benachbarten Körpers; an dem Theile, der dem im Ueberfluſſe befindlichen Körper zugekehrt iſt, entſteht Mangel, dafür an dem entgegengeſetzten Ueberfluß. Befindet ſich aber der vertheilende Körper im Zuſtande des Mangels, ſo erfolgt in dem Körper, der die Vertheilung erfährt, die umgekehrte Anordnung der elektriſchen Materie. So weit geht alles ſehr einfach aus dieſer Anſicht hervor, die durch den Umſtand, daß ſie bloß einer elektriſchen Materie zur Darſtellung der Erſcheinungen bedarf, ſogar etwas vor dem dualiſtiſchen Syſteme voraus zu haben ſcheint. Allein die Erklärung der Abſtoßung gleichnamig und der Anziehung ungleichnamig elektriſirter Körper fordert eine ſubtilere Betrachtung. Die Abſtoßung negativ elektriſcher Körper läßt ſich in dieſer Hypotheſe nur in ſo fern haltbar erklären, als noch vorausgeſetzt wird, daß die Körpertheile, wenn ſie

aller elektriſchen Materie beraubt wären, einander abſtoßen würden und zwar mit einer Kraft, die genau um den Betrag der Gravitation geringer iſt, als die Kraft, womit die elektriſchen Materien der im natürlichen Zuſtande befindlichen Körper einander abſtoßen, während letztere Kraft der Attraction zwiſchen den Theilchen der elektriſchen Materie und denen des gegenüberſtehenden Körpers gleichkommt. Sämmtliche Kräfte werden dabei dem Geſetze des verkehrten Quadrates der Diſtanz unterworfen gedacht. In dieſer Hypotheſe kann es ganz unbeſtimmt bleiben, welche der beiden Elektricitäten, die des Glaſes oder des Harzes, die durch Ueberfluß an elektriſcher Materie erzeugte, alſo die eigentlich poſitive ſey. Es wird jedoch aber ganz willkürlich angenommen, daß die Elektricität, die gewöhnlich geriebenes Glas zeigt, durch Ueberfluß an elektriſcher Materie entſtehe.

Die ſo eben erwähnte Modification an Franklin's Hypotheſe, nämlich die Annahme einer urſprünglichen Abſtoßungskraft der Materie, rührt von Aepinus her. Die Erklärung, die ſonſt gegeben zu werden pflegt, nach welcher die Abſtoßung negativ elektriſcher Körper durch Mitwirkung der atm. Luft erfolgen ſoll, ſteht mit der Erfahrung im Widerſpruch, welche lehrt, daß die elektriſche Repulſion auch im luftleeren Raume Statt findet, ſie mag nun von poſitiver oder negativer Elektricität herrühren.

113. Vergleicht man die unitariſche und die dualiſtiſche Hypotheſe über die Grundurſache der elektriſchen Erſcheinungen aufmerkſam mit einander, ſo findet man bald, daß, ſo lange es ſich nur um Phänomene der elektriſchen Spannung handelt, die eine genau zu denſelben Reſultaten führen müſſe, wie die andere. Es kann daher auf dieſem Felde, wo die größere oder geringere Wahrſcheinlichkeit der Vorausſetzung nicht in Betracht kommt, über den relativen Werth dieſer zwei Anſichten nicht entſchieden werden, ſondern ſie ſind, wenn man die aus einer derſelben gezogenen Folgerungen in den Ergebniſſen der Erfahrung über das Verhalten der Elektricität im Gleichgewichts-Zuſtande nicht wieder finden ſollte, beide zugleich widerlegt.

114. Die Grundzüge der von Faraday aufgeſtellten Hypotheſe ſind folgende: Der letzte Grund der Elektricität liegt in den Molekeln (nicht in den Atomen) der Körper und der elektriſche Zuſtand beſteht darin, daß dieſe Molekel an entgegengeſetzten Hälften entgegengeſetzte Eigenſchaften, d. h. Polarität beſitzen. In der Herbeiführung dieſer Polarität liegt das Weſen deſſen, was man elektriſche Vertheilung nennt und jede Aeußerung von Elektricität ſetzt ſie voraus. Die zwei entgegengeſetzten elektriſchen Zuſtände müſſen immer zugleich und in gleichem Betrage vorhanden ſeyn, nur ſind nicht unter allen Umſtänden beide bemerklich. Der polare Zuſtand der Molekel iſt eine Art Zwangszuſtand, der nur durch äußere Veranlaſſung hervorgerufen wird, und nach deren Aufhören auch der natürliche Zuſtand wieder zurückkehrt; daher die Molekel während ihres polaren Zuſtandes ein fortwährendes Beſtreben, in den natürlichen, nicht polaren, zurückzukehren äußern. Dieſes Beſtreben gibt ſich als elektriſche

Spannung kund. Die Polarität der Molekel kann durch beſondere Behandlungsweiſen oder durch den polaren Zuſtand eines benachbarten Molekels hervorgerufen werden. Daß bei der Erregung der Polarität der Molekel durch eigenthümliche Operationen, wie z. B. durch Reiben, Druck, Trennung ꝛc. beide elektriſche Zuſtände hervorgerufen werden, kann Niemand bezweifeln, da ſich das Daſeyn beider ſo hervorgerufenen E. nachweiſen läßt, allein daß ſelbſt bei der ſogenannten Mittheilung der Elektricität dem betreffenden Körper beide Elektricitäten beigebracht werden, liegt nicht ſo klar am Tage, ja es ſcheint ſogar die Erfahrung dagegen zu ſprechen. Allein da, wo es den Anſchein hat, als habe man einem Leiter nur eine Elektricität beigebracht, iſt dieſes nur die an ſeiner äußern Begrenzung durch Vertheilung, alſo durch Erzeugung der Polarität mittelſt ſchon polarer benachbarter Theile, hervorgerufene Elektricität, die wir wahrnehmen; in ſeiner inneren Begrenzung, wenn er hohl iſt, treffen wir keine Elektricität an, weil ſich da die entgegengeſetzten Wirkungen einander entgegenſtehender Theile ringsherum aufheben. An einem ſchlechten Leiter bemerkt man wohl auch im Innern Elektricität, allein da iſt auch immer die entgegengeſetzte der durch Vertheilung hervorgerufenen Elektricität, verſtärket vorhanden (71). Demnach iſt das, was man mitgetheilte Elektricität nennt, immer nur die in gleichem Betrage durch Vertheilung hervorgerufene gleichnamige Elektricität des Körpers, der die Mittheilung erfahren hat.

Die Herbeiführung der Polarität durch den polaren Zuſtand benachbarter Theile bewirkt die Fortpflanzung der Elektricität. Ein Theilchen kann aber nur ein benachbartes afficiren und eine eigentliche vertheilende Wirkung in die Ferne findet nur im leeren Raume Statt. Elektricitätsleitung iſt demnach Uebertragung des polaren Zuſtandes eines Molekels auf ein anderes, wobei erſteres in ſeinen natürlichen Zuſtand zurückkehrt. Dieſe Uebertragung geht zwiſchen Theilen von verſchiedener Natur oder zwiſchen ſolchen von einerlei Natur oder in verſchiedenen Zuſtänden ungleich leicht vor ſich. Jene Theilchen, bei denen dieſes weniger leicht erfolgt, vertragen eine höhere Polariſation, ohne ſie an die Nachbarſchaft zu übertragen. Hiedurch wird der Unterſchied zwiſchen guten und ſchlechten Leitern begründet. Dieſer Unterſchied beſteht aber nur in der Zeit, die zur Uebertragung des polaren Zuſtandes erforderlich iſt, und Leitung und Iſolation ſind nur die äußerſten Glieder einer Reihe von Zuſtänden, die gemeinſchaftliche Effecte hervorbringen. Man kann von den Molekeln nicht ſagen, daß ſie Nichtleiter ſeyen; denn alle ſind für Aenderung ihres natürlichen Zuſtandes empfänglich und müſſen demnach als Leiter angeſehen werden. Ein Nichtleiter hat Aehnlichkeit mit einem Aggregate aus kleinen, von einander iſolirten Conductoren, wie etwa eine Harzmaſſe, in welcher vereinzelnt Bleiſchrot vorkommen. Wären die Kräfte der Molekel auf beſtimmte Puncte beſchränkt, ſo müßte der leere Raum zwiſchen den Theilen eines Leiters ſelbſt als ein Leiter, zwiſchen jenen eines Iſolators als ein Iſolator betrachtet werden, welches abſurd

wäre. Es ſind es vielmehr die von den Molekeln ausgehenden Kräfte, die ſich über die Zwiſchenräume erſtrecken und jenen Unterſchied begründen.

Bei ſchlechten Leitern geht der wirklichen Fortpflanzung der Elektricität die durch die polare Affection ihrer Molekel begründete Tendenz dazu voran, und gerade hierdurch werden ſchlechte Leiter die Mittel, durch welche elektriſche Körper auf entfernte Leiter wirken, indem ſie die Phänomene der gewöhnlichen Vertheilung hervorbringen. Unterbricht ein Leiter die gerade Communication, ſo kommt die Vertheilung auf krummen Wegen zu Stande, ſobald in dieſem nichtleitende Molekel vorkommen. Der Effect wird aber durch die Natur des iſolirenden Mediums (das ſpeciſiſche Inductionsvermögen) bedingt. Die vertheilende Wirkung der Molekel äußert ſich rings um dieſelben. Wird aber der ſie vermittelnde Nichtleiter nach einer beſtimmten Richtung hin betrachtet, ſo haben alle Querſchnitte dieſelbe Summe von Kräften und dieſe entſprechen dem Betrage der Abweichung der Theilchen vom natürlichen Zuſtande. Die Wirkung auf die Entfernung hin wird in dem Maße geſchwächt, als mehr Theilchen an der Kraft Antheil nehmen. Nicht alle Theile des die Vertheilung vermittelnden Nichtleiters werden gleichzeitig in einen gleichen Zwangszuſtand verſetzt, jene, die der Umſtände wegen am erſten auf das Maximum dieſes Zuſtandes, deſſen ſie fähig ſind, gebracht werden, bedingen den Moment der Entladung, d. h. der gewaltſamen Uebertragung des polaren Zuſtandes von Theilchen zu Theilchen des Nichtleiters. So wie aber dieſe Entladung an einer Stelle beginnt, wird den anderen Theilen die Stütze entzogen, welche ſie an den am meiſten polariſirten haben, und nun können auch dieſe dem Andrange nicht mehr widerſtehen und ſo erfolgt die Entladung auch an dieſen. Manche Körper ſind im feſten Zuſtande nur Leiter oder Iſolatoren, im flüſſigen aber treten ſie bei einer gewiſſen Spannung aus der Klaſſe der Leiter und Iſolatoren heraus und übernehmen eine beſondere Rolle, indem ſie ohne Zerfällung in ihre chemiſchen Beſtandtheile ſich nicht auf einander entladen können. Von der Art iſt das Waſſer, das durch elektriſche Entladung in ſeine Beſtandtheile zerfällt werden kann.

115. Faraday läßt es unbeſtimmt, wie die Molekel der Körper die Polarität bekommen, welche nach ſeiner Anſicht den elektriſchen Zuſtand derſelben bedingen. Es iſt aber nicht unwahrſcheinlich, daß dieſer Zuſtand eine Grundeigenſchaft der Molekel ausmache, die immer und unter allen Umſtänden vorhanden iſt, aber nur unter beſonderen Bedingungen nach außen wirken kann. Geſetzt man geſtehe den Molekeln dieſe Eigenſchaft zu und denke ſich demnach jedes Molekel in zwei mit entgegengeſetzten Eigenſchaften verſehene Hälften getheilt, von ſolcher Art, daß ſich zwei gleichartige Hälften abſtoßen, zwei ungleichartige ſich anziehen. Dieſe Anziehung und Abſtoßung wird offenbar nur dann nach außen wirken können, wenn die Molekel eine ſolche Lage gegen einander haben, daß ſich ihre Wirkungen gegenſeitig unterſtützen, etwa wie Magnete, deren gleichnamige Pole nach derſelben

Gegend hin gerichtet ſind. Iſt ihre Lage von der Art, daß ſich ihre Wirkungen gegenſeitig aufheben, ſo können die mit ſich ſelbſt beſchaftigten Kräfte nicht nach außen wirken. Wiewohl ſich demnach die Molekel der Körper immer in einem polaren Zuſtande befinden, ſo treten die elektriſchen Erſcheinungen doch nur erſt dann hervor, wenn ſie auf eine hiezu geeignete Art unter ſich angeordnet ſind. Unter den gewöhnlichen Umſtänden iſt die Kraft jedes Theilchens mit der Gegenkraft der Umgebung beſchäftiget und der Körper erſcheint im natürlichen Zuſtande; erſt wenn die Molekel durch äußere Einwirkung in die gehörige Lage gebracht werden, dann wirken ſie nach außen, und der Körper erſcheint elektriſch. Das Elektriſchwerden iſt daher nach dieſer Anſicht immer mit einer Bewegung der Molekel verbunden und demnach ein dynamiſches Phänomen. Das Beharren in dieſem Zuſtande begründet die elektriſche Spannung, der Act der Herſtellung desſelben oder der Rückkehr in die ſogenannte natürliche Lage der Theile, den elektriſchen Strom. Die größere oder kleinere Schwierigkeit, mit welcher die Molekel aus der natürlichen Lage in die zur Aeußerung der Polarität nöthige gebracht werden, beſtimmt die Größe der Leitungsfähigkeit eines Körpers; die Größe der Ablenkung aus der natürlichen Lage, welche die Molekel eines Körpers erleiden können, ohne mit Gewalt in die letztere wieder zurück zu kehren, gibt die Größe der Spannung an, welche ſie ohne Entladung vertragen können; das gewaltſame Zurückkehren in die natürliche Lage iſt die Entladung ſelbſt. Kann ein Körper jene Aenderung der Lage ſeiner Molekel, wie ſie ihm von einem angrenzenden aufgedrungen wird, nicht ohne in ſeine Beſtandatome zu zerfallen, annehmen, ſo ſagt man, er werde durch den elektriſchen Strom zerſetzt.

Molekel, die ſich ſelbſt überlaſſen ſind, d. h. ſolche, die der Einwirkung der Schwere, Adhäſion, Affinität ꝛc. folgen können, ordnen ſich immer ſo an, wie dieſe Kräfte es fordern, und daraus geht in der Regel der ſogenannte unelektriſche Zuſtand hervor. Die den Molekeln von Natur aus eigene Beweglichkeit, die ſie beſitzen, wenn ſie auch ſtarren Maſſen angehören, und die ſich durch Elaſticität, Ausdehnbarkeit, die Möglichkeit der Umkryſtalliſirung ohne inzwiſchen flüſſig geweſen zu ſeyn, kund gibt, macht jene Veränderung der Lage der Molekel möglich, die nach dieſer Anſicht zum Elektriſchwerden nothwendig iſt. Bei flüſſigen Körpern beſitzen die Molekel zwar abſolut leichte Beweglichkeit, aber eben dieſer Zuſtand ſcheint dem Elektriſchwerden, wozu eine beſtimmte Lage der Theile gehört, nicht beſonders günſtig zu ſeyn.

Siehe hierüber: Robert Symmer in Phil. transact. 51. 1; Franklins Briefe von der Elektricität, Leipz. 1758. Faraday in Pogg. Ann. Ergänzungsbd. zu 51. 249.

Siebentes Kapitel.

Galvanismus mit Rückſicht auf die Geſetze des elektriſchen Stromes.

A. Einfache Kette und Verſuche mit derſelben.

116. Im Vorhergehenden wurden vornehmlich die Phänomene der elektriſchen Spannung unterſucht und nur bei der Betrachtung der elektriſchen Entladungen ein Uebergriff in's Reich der Bewegung der Elektricität gemacht. Hier ſollen nun die anhaltenden Entladungen oder Ströme näher betrachtet werden. Gleich wie man aber zum Behufe der Darſtellung der Spannungsgeſetze einen Apparat braucht, der im Stande iſt, Elektricität von großer Spannung zu entwickeln, und wir uns deßhalb hauptſächlich an die Elektriſirmaſchine und die damit in Verbindung ſtehenden Apparate halten mußten: eben ſo bedürfen wir Behufs des Studiums der elektriſchen Ströme eine Vorrichtung, die ſolche vorzugsweiſe zu liefern im Stande iſt, und dieſe iſt die ſogenannte Volta'ſche Säule oder Kette. Die Quelle ihrer Elektricität iſt die von Volta auf Veranlaſſung einer Entdeckung Galvani's zuerſt erkannte, weßwegen die aus ihr entſpringende Elektricität auch die galvaniſche oder Volta'ſche Elektricität genannt wird; nach den Umſtänden ihres Entſtehens heißt ſie auch Berührungs-elektricität.

117. Wenn man eine Zink- und eine Kupferplatte mit einander in Berührung bringt, ſo werden beide elektriſch und zwar erhält die eine poſitive, die andere negative Elektricität. Man überzeugt ſich von der Richtigkeit dieſer Thatſache durch den Volta'ſchen Fundamentalverſuch, der auf folgende Arten angeſtellt werden kann: 1) Man nehme eine 1—3 Zoll im Durchmeſſer haltende, recht glatte Zink- und eine eben ſo große Kupferplatte, befeſtige jede derſelben an einem iſolirenden Handgriffe, faſſe beide Platten bei dieſem, bringe ſie mit einander in Berührung, trenne ſie hierauf und übertrage die Elektricität der einen oder der andern an einen Condenſator. Dieſes Verfahren wiederhole man mehrere Male mit der Vorſicht, diejenige Platte, welche nicht an den Condenſator gebracht wurde, ehe man ſie mit der andern in eine neue Berührung bringt, zuerſt auf den natürlichen Zuſtand zurückzuführen. Der Condenſator zeigt dann deutlich die Elektricität der Platte, und zwar erſcheint die Zinkplatte poſitiv und die Kupferplatte negativ elektriſch. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß, um ein reines Reſultat zu erhalten, die Condenſatorplatte aus demſelben Metalle beſtehen muß wie die Platte, deren Elektricität man an erſtere überträgt. 2) Man berühre die aus Kupfer beſtehende Collectorplatte eines condenſirenden Elektroſkops einmal mit einem nicht iſolirten Stücke Zink. Es könnte auch die Collectorplatte aus Zink beſtehen und mit einem Stücke Kupfer berührt werden. Jedenfalls zeigt ſich dasſelbe Reſultat wie oben. 3) Man bediene ſich

einer Vorrichtung, ganz ähnlich einem Condenſator mit Elektroſkop, nur daß die eine Platte von Kupfer, die andere von Zink iſt und der Firnißüberzug fehlt. Hebt man die Oberplatte von der Unterplatte ab, gleichviel, ob erſtere iſolirt oder nicht iſolirt iſt; jedenfalls zeigt ſich die Elektricität, wie vorhin geſagt wurde.

Die Anſtellung dieſer Verſuche erfordert ein empfindliches Elektroſkop und einige Aufmerkſamkeit, weil es ſich hier um Nachweiſung einer ſchwachen elektriſchen Spannung handelt, deren Entſtehen man nach Gutbefinden erklären mag, die man aber nicht läugnen kann. Das ſpäter zu erwähnende Bohnenberger'ſche Elektroſkop eignet ſich ſehr gut zu genannten Verſuchen, da es gleich die Art der Elektricität anzeigt. Sehr leicht kann man auch die Verſuche mit dem Duplicator machen. Man überzeugt ſich leicht, daß die Elektricität der mit einander in Contact geſetzten Platten nicht durch Reibung oder Druck, oder Einfluß der Temperatur ꝛc. entſtehe. Man kann die beiden Platten an einander löthen und ſomit den Verdacht einer Reibung oder eines Druckes ganz beſeitigen, und doch findet man ſelbe nach beliebig langer Zeit, wenn man nach 2) verfährt, ſtets elektriſch. Zum Verſtändniß der Verſuche iſt noch die Bemerkung wichtig, daß die einander berührenden Platten condenſirend auf einander einwirken, wonach die Verſchiedenheit des Erfolges bei 1) und 2) und die Nothwendigkeit der öftern Wiederholung des Vorganges nach 1) begreiflich wird. Auch iſt es nöthig, den Einfluß der Berührung der Platten mit den Fingern oder mit den Körpern, worauf ſie früher lagen u. dgl. in Erwägung zu ziehen. Gute Bemerkungen über alles dieſes geben Fechner (Pogg. Ann 41. 224) und Petrina (Zeitſchr. n. F. 5. 511; 6. 38). Aus der Thatſache der Berührungselektricität ergibt ſich auch eine wichtige Vorſichtsmaßregel für den Gebrauch des Condenſators ſelbſt, damit man nicht einen Körper an ſich für elektriſch halte, der es erſt bei der Berührung der Condenſatorplatte wird.

118. Nicht bloß Zink und Kupfer, ſondern alle Metalle nebſt andern feſten Körpern, ja ſehr viele tropfbare Flüſſigkeiten unter einander und mit feſten Körpern in Contact gebracht, zeigen ſich elektriſch; es iſt alſo die Berührung eine ſehr allgemeine Veranlaſſung zum Entſtehen des elektriſchen Zuſtandes. Aber aus dem Fundamentalverſuche folgt noch keineswegs, daß die Berührung mehr als bloße Veranlaſſung der Elektricitätserregung ſey oder vielleicht gar als Urſache der Elektricitätserregung angeſehen werden müſſe. In ſofern dieſe Urſache unbekannt iſt, mithin als eine Kraft betrachtet wird, darf man ihr immerhin mit Volta den Namen elektromotoriſche Kraft beilegen und die ſich berührenden Körper Elektromotoren nennen.

119. Viele Phyſiker nehmen mit Volta an, und die Erfahrung hat bis jetzt dieſe Annahme nicht widerlegt, daß, wenn bei dem Contacte eines Körpers A mit einem andern B, der erſte, nämlich A ſich poſitiv, mithin der zweite B ſich negativ elektriſch zeigt; wenn ferner bei der Berührung von B mit einem dritten C, nun B die poſitive, C die negative Elektricität erhält, ſicher bei dem Contacte zwiſchen A und C, der erſtere poſitiv, der letztere negativ elektriſch werde. Wird dieſe Annahme zugegeben, ſo laſſen ſich alle die Elektricität lei-

tenden Körper in eine Reihe, Spannungsreihe genannt, zuſammenſtellen, in welcher ſie ſo auf einander folgen, daß ein vorhergehender mit jedem nachfolgenden durch Berührung poſitiv, mithin jeder folgende mit dem vorhergehenden negativ elektriſch erſcheint, und die Menge der von einem Körperpaare erregten Elektricität bei übrigens gleichen Umſtänden deſto größer ausfällt, je weiter die dieſes Paar conſtituirenden Körper in dieſer Reihe von einander abſtehen. Demnach iſt derjenige, welcher dieſe Reihe beginnt, mit allen übrigen poſitiv, derjenige, welcher ſie ſchließt, mit allen übrigen negativ elektriſch, und dieſe zwei Körper geben durch gegenſeitige Berührung die meiſte Elektricität.

Volta's Verſuche mit dem Condenſator haben ihm folgende Spannungsreihe gegeben: Zink, Blei, Zinn, Eiſen, Kupfer, Silber, Reißblei, mehrere Kohlenarten, kryſt. Braunſtein. Pfaff hat auf demſelben Wege dieſe Reihe anſehnlich erweitert. Sie lautet: Zink, Blei, Kadmium, Zinn, Eiſen, Wismuth, Kobalt, Arſenik, Kupfer, Spießglanz, Platin, Gold, Queckſilber, Silber, Kohle, Glaserz, Schwefelkies, Kupferglanzerz, Kupferkies, Bleiglanz, Zinngraupen, Kupfernickel, Arſenikkies, Waſſerblei, Uranoxydul, Pecherz, Titanoxyd, Graphit, Wolfram, Schrifterz, kryſt. Graubraunſteinerz. Die kleinſte Aenderung der chemiſchen Natur oder ſelbſt der Oberfläche der Elektromotoren ändert den elektromotoriſchen Rang eines Körpers. Zwei ganz gleiche Zinkplatten geben keine Elektricität, wenn ſie ſich gegenſeitig berühren; wird aber eine davon mit einer Silberplatte auch nur einmal gerieben, oder läßt man ſie einige Zeit mit einer ſolchen in Berührung, ſo gibt ſie, mit der andern in Verbindung, — E. Nach Munk af Roſenſchöld erregen ſelbſt ſchlecht leitende Körper Berührungs-Elektricität. Einer derſelben, nämlich Bleiſuperoxyd, ſoll ſogar der ſtärkſte negative Elektromotor ſeyn. (Pogg. Ann. 35. 46.)

120. Volta's Scharfblick ſuchte noch tiefer in das Weſen der Erſcheinung einzudringen. Er ſtellte als Grundſatz auf, daß die elektriſche Spannung deſſelben in Berührung befindlichen Paares nicht von der Maſſe der Körper oder von der Menge ihrer Berührungspuncte, ſondern lediglich von ihrer materiellen Beſchaffenheit abhänge und zugleich vollkommen conſtant ſey, d. h. darin immer dieſelbe elektriſche Differenz herrſche, es mögen beide Körper iſolirt ſeyn oder einer derſelben mit der Erde in leitender Verbindung ſtehen. Erſcheint alſo einer der beiden Stoffe, wenn das Paar iſolirt iſt, mit der Spannung $+$ a, der andere mit der Spannung $-$ a, was die elektriſche Differenz 2a gibt; ſo muß, damit dieſe Differenz dieſelbe bleibe, in dem Falle, wo einer wegen leitender Verbindung mit der Erde, in den natürlichen Zuſtand verſetzt wird, die Spannung des andern auf den doppelten Werth erhöht werden. Wird dem Paare eine Quantität Elektricität mitgetheilt, die, abgeſehen von dem Contacte, jedem Stoffe die Spannung b beizubringen vermag; ſo erhält der eine Stoff die Spannung $b + a$, der andere $b - a$ und die Differenz iſt wieder 2a.

Hieran knüpfte Volta noch die Behauptung, daß, wenn mehrere feſte Leiter unmittelbar mit einander in Berührung kommen, der Erfolg

derſelbe ſey, als wenn nur der erſte und letzte Körper allein einander berührten, und überhaupt die Spannung zweier Körper, welche in der Spannungsreihe nicht unmittelbar auf einander folgen, der Summe der Spannungen aller in dieſer Reihe zwiſchen den betreffenden Körpern liegenden gleich ſeyn müſſe. Es fehlt zwar bis jetzt noch an einem directen Beweiſe der Richtigkeit dieſes letzteren Satzes; allein da er etwas der Zuſammenſetzung der Kräfte Analoges ausſpricht, und in ſofern einige Wahrſcheinlichkeit für ſich hat, endlich da er von den zahlreichen Anhängern Volta's als eine Art Glaubensartikel angenommen wurde und bis jetzt noch keine gründliche Widerlegung erfahren hat; ſo mag er einſtweilen in dem Archive der Wiſſenſchaft niedergelegt bleiben. Ein Beiſpiel wird den Sinn des Satzes noch mehr erläutern. Es ſey, wie Volta annimmt, die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Blei = 5, zwiſchen Blei und Zinn = 1, zwiſchen Zinn und Eiſen = 3, zwiſchen Eiſen und Kupfer = 2 und zwiſchen Kupfer und Silber = 1; ſo muß die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Kupfer = 5 + 1 + 3 + 2 = 11, und jene zwiſchen Zink und Silber = 5 + 1 + 3 + 2 + 1 = 12 ſeyn.

121. An den Volta'ſchen Fundamentalverſuch ſchließt ſich ein anderer an, der uns einen nicht minder merkwürdigen, mit dem Contacte zweier Metalle in Beziehung ſtehenden Erfolg vor Augen ſtellt: Man tauche eine Zinkplatte in verdünnte Schwefelſäure. Sogleich tritt eine lebhafte Gasentwicklung ein, es entbindet ſich Waſſerſtoffgas und zugleich wird die Platte von der Säure, die das in Folge der Waſſerzerſetzung gebildete Zinkoxyd auflöſet, angegriffen. Hierin liegt nichts, was nicht den gewöhnlichen chemiſchen Geſetzen gemäß wäre. Nachdem die Platte einige Augenblicke in der Säure war, hebe man ſelbe heraus und bringe etwas Queckſilber darauf; dieſes läßt ſich nun auf der Zinkplatte, der es begierig adhärirt, ſo vertheilen, daß dieſe ganz mit Queckſilber überzogen, d. h. amalgamirt erſcheint. Taucht man die ſo bekleidete Platte wieder in die Säure, ſo wird ſelbe ſelbſt nach langer Zeit nicht angegriffen, und es entwickelt ſich kein Waſſerſtoffgas. Der Queckſilberüberzug ſchützt alſo die Zinkplatte vor der Säure. Nun ſtelle man eine Kupferplatte der Zinkplatte gegenüber in die Flüſſigkeit. Dieß ändert an dem Zuſtande der Zinkplatte nichts, und auch die Kupferplatte wird nicht angegriffen. Sobald man aber die Kupferplatte mit der Zinkplatte in Berührung oder auch nur mittelſt eines Drahtes in metalliſche Verbindung ſetzt, ſo erfolgt ſogleich eine lebhafte Entwicklung von Waſſerſtoffgas, und das Zink wird aufgelöſt: allein, und dieß iſt an dem Verſuche beſonders merkwürdig, das Waſſerſtoffgas erſcheint nicht wie früher an der Zinkplatte, ſondern die Gasblaſen ſteigen ſämmtlich von der Kupferplatte auf, die doch für ſich kein Waſſer zu zerlegen und alſo auch kein Waſſerſtoffgas zu entwickeln vermag. Unterbricht man den Metallcontact, ſo hört die Auflöſung des Zinkes und die Gasentwicklung augenblicklich auf und beginnt nach Herſtellung des Metallcontactes wieder von Neuem.

122. Dieſer Verſuch läßt ſich mit einigen Abänderungen ausführen, die ſeine Weſenheit näher beleuchten. Man nehme die Ku-

pfer- und Zinkplatte von größeren Dimenſionen, z. B. jede von einem Quadratfuß Fläche und darüber. Am bequemſten iſt es, ſtatt der Kupferplatte ſich eines engen parallelepipediſchen Kaſtens von Kupfer (einer Kupferzelle) zu bedienen, in die man die Säure gießt und worin man die Zinkplatte einſenkt, jedoch ſo, daß ſie das Kupfer nirgends leitend berührt, was ſich mit Glas- oder ſelbſt mit Holzſtäben leicht bewerkſtelligen läßt. An die Zinkplatte, wie auch an die Kupferplatte ſind kurze Stücke dicken Kupferdrahtes gelöthet, an welche Schraubenklemmen paſſen, in die man wieder andere Drähte als Fortſetzung einklemmen kann. Bringt man die Enden zweier ſolchen mit dem Zink und Kupfer verbundenen Drähte unter einander in Contact, und trennt ſie hierauf wieder; ſo ſieht man, zumal wenn es Kupfer- oder Meſſingdrähte mit amalgamirten Enden ſind, bei jeder Trennung einen kleinen hellen Funken. Läßt man von der Kupferzelle zur Zinkplatte eine Drahtverbindung gehen, in welche ein kurzes Stück feinen Platindrahtes als Beſtandtheil eingeſchaltet iſt, ſo geräth dieſes, ſo lange die Säure kräftig wirkt, d. h. ſo lange ſie noch nicht zu viel Zinkoxyd aufgenommen hat, bei jeder Herſtellung der metalliſchen Communication zwiſchen Zink und Kupfer in helles Glühen, das bis zum Schmelzpuncte des Platindrahtes gehen kann. Dieſer Verſuch gelingt ſogar mit Platten von ſehr kleinen Dimenſionen, wenn nur der Platindraht kurz und ſehr fein iſt, und die Flüſſigkeit kräftig wirkt. Bringt man die von dem Zink und Kupfer ausgehenden Drähte auf die Zunge, den einen über, den andern unter dieſelbe, ſo empfindet man einen heftigen Geſchmack, von dem an den Drähten einzeln genommen nichts zu bemerken iſt. Schneidet man einen Froſch am Unterleibe quer durch, zieht von den Schenkeln die Haut herab, legt die zu dieſen gehenden Nervenſtränge nächſt der Rückenwirbelſäule bloß, und berührt mit einem der beiden vom Zink und Kupfer kommenden Drähte einen Nerv, mit dem andern einen der entſprechenden Muskel am Schenkel: ſo geräth das Froſchpräparat in lebhafte convulſiviſche Zuckungen, die ſogleich aufhören, ſobald man die Drähte von demſelben wegnimmt, und noch öfter wiederholt werden können, bis ſich endlich die Empfindlichkeit des Präparates verliert. Die beiden letzteren Wirkungen laſſen ſich auf eine viel einfachere Weiſe erhalten; die eine, wenn man die Zunge zwiſchen ein Stück Zink und ein Stück Kupfer gibt und die Metalle außerhalb des Mundes unter einander in Contact ſetzt; die andere, wenn man ein Stück Zink und Kupfer an einander hält und den Cruralnerv und den Schenkel des Froſchpräparates jeden für ſich mit einem der Metalle berührt. Vergleicht man dieſe Erſcheinungen mit den Aeußerungen von Elektricität, die an dem in Contact befindlichen Zink und Kupfer im Volta'ſchen Fundamentalverſuche wahrgenommen werden; ſo läßt ſich der Zuſammenhang beider Arten Phänomene nicht verkennen, und man wird ſogleich auf die Vermuthung geführt, daß auch hier Elektricität im Spiele ſey, jedoch nicht wie bei jenem Verſuche im ſtatiſchen oder Spannungszuſtande, ſondern (gleichwie bei einer unaufhörlich ſich ladenden und entladenden Leidnerflaſche) im

dynamiſchen, d. h. im Zuſtande des Stromes. Die Richtigkeit dieſer Vermuthung findet in den Belegen, welche die Folge liefern wird, ihre vollſte Beſtätigung. Beſagter Strom iſt das Reſultat des Beſtrebens der in den zwei Metallen angehäuften Elektricität ſich auszugleichen und dieſe Ausgleichung erfolgt nach zwei entgegengeſetzten Richtungen, oder wie man zu ſagen pflegt, in zwei entgegengeſetzten Strömen, einem poſitiven und einen negativen. In einem Zink- oder Kupferelement wird unſerer Vorſtellung nach die poſitive Elektricität durch die elektromotoriſche Kraft vom Kupfer zum Zink getrieben und es muß demnach der die Ausgleichung bewirkende poſitive Strom vom Zink durch den die leitende Verbindung vermittelnden Körper zum Kupfer gehen.

Die zuletzt erwähnten Erſcheinungen am Froſchpräparate haben zur Entdeckung der Elektricitätsquelle, von der hier die Rede iſt, Veranlaſſung gegeben. Alois Galvani, ein berühmter Arzt und Lehrer der Anatomie zu Bologna, hatte im Jahre 1790 entdeckt, daß ein Froſch, dem die Haut abgezogen war und der überhaupt gar kein Zeichen des Lebens mehr von ſich gab, in convulſiviſche Bewegungen gerieth, wenn er in eine elektriſche Atmoſphäre kam, während man dem elektriſchen Körper Funken entzog und zugleich den Froſch mit einem Leiter der Elektricität berührte. Er wollte dieſem Einfluſſe der Elektricität weiter nachſpüren, und bereitete ſich zu dieſem Zwecke Fröſche, indem er ſie tödtete, ihnen die Haut abzog und die Cruralnerven entblößte. Einſt hing er ſolche Fröſche mittelſt kupferner Haken an eine eiſerne Terraſſe auf, und ſah, daß die Füße plötzlich zu zucken anfingen, wenn ſie das Eiſen berührten. Galvani widmete dieſer Erſcheinung eine beſondere Aufmerkſamkeit, und fand, daß man dieſe Zuckungen am leichteſten hervorbringen könne, wenn man Muskel und Nerv zugleich mit verſchiedenen Metallen berührt, die Metalle aber ſelbſt mittelſt eines guten Leiters der Elektricität in Verbindung ſetzt, daß ſie aber alſogleich ausbleiben, wenn man ſtatt der Metalle einen ſchlechten Leiter anwendet. Dieſes mit obiger Erfahrung zuſammen gehalten, brachte ihn auf die Meinung, daß durch gleichzeitiges Berühren der Muskeln und Nerven eine darin enthaltene Elektricität in Umlauf geſetzt werde, und daß dadurch eine Entladung erfolge. Volta wiederholte dieſelben Verſuche mit kritiſchem Blicke, und fand ſich durch die dabei Statt findenden Erſcheinungen veranläßt, die Sache umzukehren, und anſtatt die Metalle als bloße Leiter und den animaliſchen Körper als Erreger der Elektricität anzuſehen, erſtere als Erreger der Elektricität und letzteren als bloßen Ableiter derſelben zu betrachten. Dazu vermochte ihn beſonders der Umſtand, daß die Zuckungen an einem Froſche ſehr ſchwach ausfallen, wenn er mit gleichartigen Metallen berührt wird, und daß ſich zwei iſolirte Metallplatten, wovon eine aus Zink, die andere aus Kupfer beſteht, während und nach ihrer Berührung mittelſt des Condenſators elektriſch zeigen. Einem Froſchſchenkel ähnlich verhalten ſich auch die Organe anderer jüngſt getödteten Thiere, zumal aus den niedern Claſſen; um ſo empfindlicher ſind ſie im lebenden Zuſtande. Legt man auf eine Zinkſcheibe ein Silberſtück und darauf einen Blutegel, ſo zeigt dieſer kein Unwohlſeyn, ſo lange er nur das Silber berührt; ſo wie er aber darüber hinaus auf das Zink kommt, prallt er wie vom Schmerz getroffen plötzlich zurück.

B. Zuſammengeſetzte Kette und ihre Wirkungen.

123. Die Zuſammenſtellung einer Kupferplatte, einer Zinkplatte und einer Säure, ſo wie ſie bei dem oben (121) beſchriebenen Verſuche Statt fand, wie auch jede andere dem Effecte nach äquivalente Zuſammenſtellung beliebig vieler, die Elektricität leitenden Subſtanzen nennt man im Allgemeinen eine Volta'ſche, ſehr häufig auch, wenn gleich minder gerecht, eine galvaniſche Kette. Enthält dieſe gerade nur ſo viele Beſtandtheile als zur Erzielung eines elektriſchen Stromes erforderlich ſind, was bei dem angeführten Verſuche der Fall war, ſo heißt die Kette eine einfache; beſteht aber die Kette aus mehreren in einander greifenden einfachen Ketten, ſo heißt ſie eine zuſammengeſetzte Kette oder auch eine Volta'ſche (ſehr unrichtig, aber doch dem herrſchenden Sprachgebrauche gemäß, eine galvaniſche) Säule oder Batterie. Die Art der Zuſammenſetzung der einzelnen Elemente zu einer Batterie iſt ſehr verſchieden, und ein Gleiches gilt auch von den Stoffen, welche man zu den Beſtandtheilen der Elemente wählt. Es kommt darauf an, welchen Effect man erzielen will, ob die Wirkung lange anhalten ſoll, oder ob man ſich mit einer raſch vorübergehenden Elektricitätsentwicklung begnügt; ob man eine größere Ausdehnung des Apparates zuläßt, oder ob man es vorzieht, zwar koſtſpieligere Materialien anzuwenden, aber dafür alles auf den möglichſt kleinſten Raum zuſammenzudrängen. Im Weſentlichen hat man aber nur die conſtanten Batterien von den veränderlichen zu unterſcheiden. Die letzteren beſtehen in der Regel aus zwei feſten und einem flüſſigen Leiter, erſtere kann man nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe nur aus zwei feſten und zwei flüſſigen Leitern conſtruiren. Jeder feſte Leiter kommt in eine der beiden Flüſſigkeiten zu ſtehen und beide Flüſſigkeiten ſind von einander durch ein poröſes, für die Elektricität durchdringliches Gefäß getrennt. Die feſten Leiter ſind meiſtens Zink und Kupfer, wohl auch Zink und Silber. Wo man ſehr kräftige Wirkungen erzielen will, wendet man ſtatt des Kupfers Platin an, und amalgamirt das Zink. Maſſives Platin kann durch Porcellan, das mit einer eingebrannten Platindecke verſehen iſt, wohl auch durch Eiſen erſetzt werden. In vielen Fällen braucht man Platten aus Zink und verkoxter Kohle oder künſtlichem Graphit. Zink hat man neueſtens durch Zink- oder Kaliumamalgame erſetzt. Als flüſſige Leiter dienen Auflöſungen von Kochſalz, Salmiak, Kupfervitriol, doppelt chromſaurem Kali, Säuren: wie Schwefelſäure, Salpeterſäure oder Salzſäure; man kann aber auch Alkalien und überhaupt jede Flüſſigkeit anwenden, die zerlegbar iſt und auf eines der Metalle chemiſch wirkt. Die Zuſammenſetzung der einzelnen Elemente zu einer zuſammengeſetzten Kette wird auf die mannigfaltigſte Weiſe bewerkſtelliget und von dieſer hängt es ab, ob der Apparat ſchlechtweg Säule, oder Trog-, Becher-, Kapſelapparat ꝛc. genannt wird.

Die im Jahre 1800 bekannt gewordene und auch manchmal jetzt noch in Anwendung kommende Conſtruction der Volta'ſchen Säule iſt

folgende: Man ordnet eine gewiſſe Anzahl, 25—100, ſelten mehr ebene, rein geſcheuerte, runde oder viereckige Kupferplatten (K) von 1—4 Zoll Durchmeſſer oder Seite, ſelten größer, eben ſo viele gleiche Zinkplatten (Z) und Pappſcheiben oder Tuchlappen (L), die man mit Kochſalz- oder auch mit Salmiaklöſung getränkt hat, auf einem Poſtamente zwiſchen drei Glas- oder Holzſtäben dergeſtalt, daß ſie eine Säule bilden (Fig. 225), in der die genannten Beſtandtheile in der Ordnung K Z L K Z L K Z L K Z ꝛc. auf einander folgen, wo alſo, wenn die unterſte Platte Kupfer iſt, die oberſte eine Zinkplatte iſt, oder umgekehrt. Oft iſt gleich jede Zinkplatte mit ihrer Kupferplatte zuſammengelöthet, letztere etwas größer und nach der vom Zink abgekehrten Seite zu einer Art Schale mit niedrigem Rande aufgebogen, in welchem Falle die Säule unten mit einer Zinkplatte anfängt und oben mit einer Kupferplatte endigt. Die Schale dient, das Ablaufen der Flüſſigkeit aus den durch das Gewicht der Platten zuſammengepreßten Lappen zu verhindern. Bei einer Plattenzahl, die 25 — 50 überſteigt, zieht man es vor, daraus mehrere Säulen zu machen, dieſe neben einander zu ſtellen und das Zinkende der einen mit dem Kupferende der nächſt folgenden durch dicke Kupferdrähte zu verbinden. Man kann bei der oben angezeigten Anordnung auch die beiden äußerſten Platten weglaſſen, d. h. die Säule nach dem Schema Z L K Z L K Z L K ꝛc. aufſtellen. Ebene Platten (ohne aufgebogenen Rand) kann man auch zu einer liegenden Säule an einander ſchlichten, an deren Geſtelle ſich an einem Ende eine Schraube zum Preſſen der Säule befindet. War die Säule eine Zeit lang auf die ſpäter zu bezeichnende Weiſe im Gange, ſo iſt es nöthig, dieſelbe aus einander zu nehmen und die Platten zu reinigen.

Um die Flüſſigkeit anwenden zu können, ohne ſie durch Papp- oder Tuchlappen aufſaugen zu laſſen, was dann beſonders in Betrachtung kommt, wenn man die Batterie mit einer ſtarken Säure laden will, welche die Lappen zerſtört, hat man die Trogapparate eingeführt. Ein ſolcher (Fig. 226) beſteht aus einem Kaſten von Holz, Steingut oder Porcellan mit Fugen zur Aufnahme der Platten, deren jede meiſtens aus zwei zuſammengelötheten einzelnen Platten von Kupfer und Zink, ſogenannten Doppelplatten, beſteht, und die ſo angeordnet werden, daß immer eine ihre Kupferſeite der Zinkſeite der folgenden zuwendet, wodurch ſchon erreicht wird, daß, wenn die erſte mit Kupfer anfängt, die letzte mit Zink aufhört. In die Zellen wird der flüſſige Leiter gegoſſen. Eine Modification des Trogapparates iſt der Becherapparat (Fig 227), deſſen Einrichtung zum Zwecke hat, mit größeren Quantitäten Flüſſigkeit arbeiten zu können und dadurch die Wirkung anhaltender zu machen. Er beſteht aus einer Anzahl gläſerner Gefäße, welche den flüſſigen Leiter enthalten, und aus eben ſo vielen Paaren Metallplatten, wovon immer eine Zink- mit einer Kupferplatte mittelſt eines Metallſtreifens verbunden iſt; dieſe werden in die Gefäße ſo eingehängt, daß in jedes derſelben immer eine Kupfer- und eine Zinkplatte zu ſtehen kommt. Graf Stadion nahm ſtatt der Zinkplatte eine bloße Zinkſtange, und ſtatt der Kupferplatte einen hohlen kupfernen Cylinder, jede Zinkſtange war mittelſt eines Bogens an den folgenden Cylinder gelöthet. (Fig. 228). Berzelius empfiehlt als den einfachſten Volta'ſchen Becherapparat jenen, wo jede Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel vertreten wird, in welche ein Kupferdraht eingelöthet iſt, der in einen Bogen gekrümmt, am anderen Ende etwas breitgeſchlagen wird und ſogleich ſtatt der Kupferplatte dient. Man kann ſtatt gläſerner Gefäße auch ſchmale kupferne anwenden, ſie in eine Reihe neben einander ſtellen

und die in jedes einzelne eingehängte Zinkplatte mit dem nächſt folgenden Gefäße verbinden. Zur Iſolirung der Zinkplatten wendet man Holzſtäbe an, welche man dieſen Platten ſo anfügt, daß ſie die Kupferzelle nirgends berühren. Die Kupferzellen bringen den Vortheil mit ſich, daß jede Zinkplatte von beiden Seiten mit Kupfer umgeben iſt; ähnliches leiſtet die *Wollaſton*'ſche Einrichtung des Trogapparates, wobei jede Kupferplatte doppelt ſo groß als die Zinkplatte, und um ſelbe herumgebogen iſt (Fig. 229 a); jede Zinkplatte iſt von der ſie umgebenden Kupferplatte durch Holzkeile geſchieden und hängt mit der Kupferplatte des nächſt folgenden Elementes metalliſch zuſammen. Der Trog hat geſonderte Zellen, welche die Flüſſigkeit enthalten Um alle Elemente dieſes oder des vorher erwähnten Apparates zugleich in die Zellen einſenken und wieder herausheben zu können, ſind ihre Verbindungsbögen an eine gefirnißte, hölzerne Leiſte befeſtigt (Fig. 229 b). Will man einzelne, beſonders große Elemente anwenden und doch dabei mit wenig Flüſſigkeit ausreichen; ſo wird zwiſchen die zwei Platten eines Elementes Sohlenleder oder auch Tuch gelegt und hierauf das Ganze ſpiralförmig zuſammengewunden, jedoch ohne daß ſich die zwei Platten irgendwo berühren. Man kann dieſelben auch durch zwiſchen gelegte Holzſtäbe getrennt halten. Statt große Platten anzuwenden kann man auch kleinere nehmen, indem man mehrere oder alle Zinkplatten unter ſich, und die Kupferplatten wieder unter ſich metalliſch verbindet. Dabei läßt man die Zinkplatten in der Reihenfolge mit den Kupferplatten abwechſeln, ſo daß nie zwei gleichnamige neben einander ſtehen. *Hare* nannte eine ſo vorgerichtete Batterie *Deflagrator*. Zur Ladung dieſer Apparate wird gewöhnlich verdünnte Schwefelſäure oder verdünnte Salpeterſäure, oder ein Gemenge aus beiden genommen. *Hare* empfahl zu ſeinem Deflagrator eine alkaliſche Lauge.

Nachdem die Einrichtung der *Volta*'ſchen Batterien über 30 Jahre lang ſtationär geblieben war, haben ſie in neueſter Zeit bedeutende Verbeſſerungen erlangt. *Faraday*'s große Arbeit über die Elektricitätslehre gab hiezu den Impuls. Er zeigte, was auch *Hare* ſchon früher bemerkt hatte, daß es gar nicht nöthig ſey, die einzelnen Elemente der Säule in getrennte Zellen zu ſetzen, ſondern daß man ſelbe alle mit einander ohne merklichen Verluſt an Kraft auch in einen ununterbrochenen mit Flüſſigkeit gefüllten Trog ſetzen könne. Die vortheilhafteſte Conſtruction der Säule in dieſer Form iſt die, welche ihr *Young* gegeben hat. Sie iſt aus folgendem Schema zu erſehen:

Eine Folge abwechſelnder Zink- und Kupferplatten wird in einem Holzrahmen befeſtiget. Je zwei Zinkplatten und eben ſo zwei Kupferplatten ſind unter einander metalliſch verbunden, ſo wie es die beigeſetzten Klammern anzeigen Dieſe Paare ſtehen, jedes Zinkpaar mit dem nächſten Kupferpaare, welches auf das theilweiſe in das Zinkpaar eingeſchobene folgt, in metalliſcher Verbindung. In dem Schema ſind die mit einander verbundenen ungleichnamigen Paare mit gleichen Buchſtaben bezeichnet. Es hängt alſo B mit B, C mit C zuſammen u. ſ. w. Auf der einen Seite bleibt ein Kupferpaar (A), auf der andern ein Zinkpaar (E) unverbunden. Die Platten müſſen einander möglichſt nahe ſtehen. Der Trog, in welchen man ſelbe

zugleich einſenkt, wird mit einem Gemenge verdünnter Schwefel- und Salpeterſäure gefüllt (allenfalls auf 200 Thl. Waſſer $4^1/_2$ Schwefelſäure, 4 Salpeterſäure) oder mit einer concentrirten Löſung von Kupfervitriol.

Alle bisher erwähnten Apparate gehören zur Claſſe der veränderlichen. Den erſten Apparat von conſtanter Wirkung hat Daniell conſtruirt. Er hat nämlich die Zinkplatte von der Kupferplatte durch einen Ueberzug von thieriſcher Blaſe oder durch ein Gefäß von gebranntem unglaſirten Thone oder durch eine andere paſſende poröſe Scheidewand getrennt, den Raum, worin ſich die Zinkplatte befindet, mit verdünnter Schwefelſäure, jenen aber, welcher die Kupferplatte enthält, mit Kupfervitriollöſung gefüllt. Grove hat an die Stelle des Kupfers in der Daniell'ſchen Einrichtung Platin geſetzt und dieſes mit concentrirter Salpeterſäure umgeben, die durch ein poröſes Gefäß, worin beides ſich befindet, von der etwas verdünnten Schwefelſäure, die das Zink enthält, getrennt iſt. Eine Säule dieſer Art braucht nur aus wenigen Elementen von geringer Größe zu beſtehen und wirkt lange mit conſtanter Kraft. Pfaff empfiehlt ſtatt der Platinplatten Porcellancylinder mit einem darauf eingebrannten Platinüberzug. Cooper fand, daß in einer Säule nach Grove's Conſtruction ſtatt des theuren Platins mit geringem Verluſt an Effect Kohle genommen werden könne. Nach Poggendorff kann das Platin eben ſo durch Eiſen erſetzt werden, wenn man nur ſtatt der gewöhnlichen Salpeterſäure, concentrirte rauchende Säure nimmt oder wenigſtens ein Gemenge dieſer mit der gewöhnlichen von ſolcher Concentration, daß das Eiſen dadurch nicht angegriffen wird. Weber und Wöhler haben kürzlich mit Eiſen, das einerſeits in concentrirte Salpeterſäure, andererſeits in verdünnte Schwefelſäure taucht, beide Flüſſigkeiten durch ein poröſes Thongefäß geſchieden, ſehr ſtarke Wirkungen erhalten, bei welcher Einrichtung alſo bloß ein Metall mit zwei Flüſſigkeiten die Kette bildet. Bunſen läßt in der Zink-Kohlen-Kette die Kohle zugleich die Rolle des poröſen Diaphragmas übernehmen, indem er aus der durch heftiges Glühen eines Gemenges Steinkohlen und Koaks entſtehenden feſten, jedoch poröſen Subſtanz dickwandige Gefäße bildet, die mit einem Gemenge von concentrirter Salpeterſäure und Sand gefüllt werden. Es iſt etwas ſchwierig, der Kohle eine ſolche Conſiſtenz zu geben, daß ſie dem Erfolge unbeſchadet die Rolle des Diaphragma's übernehmen kann und es gewährt Vortheil auch da die poröſe Zelle beizubehalten. Ein Element einer ſolchen Batterie iſt in Fig. 230 abgebildet. Bei dieſer Kette entwickelt ſich aus der concentrirt angewendeten Salpeterſäure immer viel ſalpetrige Säure, die ſehr beläſtiget. Darum vertauſcht man dieſe Säure gerne, wiewohl mit einigem Opfer an Kraft, mit einem Gemenge von 4 Gewichtstheilen conc. engliſcher Schwefelſäure und 3 Theilen doppelt chromſaurem Kali. Das Zink befindet ſich von verdünnter Schwefelſäure umgeben in einem Gefäße. Wenige Elemente genügen zu ſehr kräftigen Wirkungen. Ueber Volta'ſche Ketten ſiehe: Gilbert's Ann. 6. 340, 468; 52. 355; 36. 364; 50. 625; 42. 263; 54. 417; 55. 265; 60. 402, 405. Pogg. Ann. 36. 505; 39. 407; 40. 624.

124. Werden die beiden Enden, die ſogenannten Pole einer Volta'ſchen Säule, durch einen Leiter, Polardraht, Schließungsdraht, auch Stromleiter genannt, mit einander in Verbindung geſetzt, ſo heißt die Säule geſchloſſen, widrigenfalls offen.

Die offene Säule zeigt, wiewohl ſtets nur ſchwache Grade elektriſcher Spannung, die geſchloſſene gibt Effekte des elektriſchen Stromes. Die Spannung iſt nach der Stellung der Platte, woran man ſie unterſucht, und nach dem Umſtande, ob die offene Säule iſolirt iſt oder nicht, verſchieden. Geht man an der Säule nach der Richtung fort, in welcher Zink in unmittelbarem metalliſchen Contacte auf Kupfer folgt (oder das die Stelle des einen vertretende Metall auf das andere), ſo nimmt die Spannung zu, d. h. die Differenz, welche aus der Subtraction der vorhergehenden von den folgenden mit Rückſicht auf ihre Zeichen ſich ergibt, iſt poſitiv. Hat alſo die Säule die urſprüngliche Volta'ſche Anordnung KZLKZLKZ und iſt ſelbe iſolirt, ſo beſitzt das Ende K, wo die Kupferplatte ſteht, der ſogenannte Kupferpol, —E, und das andere Ende Z, der Zinkpol, +E. Es iſt aber beſſer den erſteren Pol den negativen, den letzteren den poſitiven zu nennen; denn hat die Säule die Anordnung ZLKZLKZLK, ſo herrſcht in Uebereinſtimmung mit der obigen Regel an dem Pole, wo die Säule ſich mit einer Zinkplatte endigt, die negative, und an dem Ende, das man jetzt Kupferpol nennen ſollte, die poſitive Elektricität. Die Richtung, in welcher die Platten im Metallcontacte auf einander folgen, nicht die Qualität der Endplatten, beſtimmt die Natur der Pole. In der Mitte der iſolirten offenen Säule iſt die Spannung $=0$, vorausgeſetzt, daß die Säule vollkommen ſymmetriſch gebaut iſt; ihre abſolute Größe wächſt aber gegen jeden Pol hin in arithmetiſcher Reihe und ihr Zeichen ſtimmt mit jenem des betreffenden Poles überein. Iſt die Säule nicht iſolirt, nämlich ein Pol derſelben mit der Erde in leitender Verbindung, ſo ſteigt die Spannung des anderen auf das Doppelte und dann zeigt die Säule nur die Elektricität des letzteren Poles. Das Maximum der Spannung tritt aber nicht immer augenblicklich, nachdem die Pole mit dem betreffenden Elektroſkope verbunden worden, ſondern oft erſt nach einiger Zeit ein, deren Dauer mit dem feuchten Leiter der Säule zuſammenhängt. Merkwürdig iſt es, daß die Spannung des einen Poles einer Säule, deſſen zweiter mit der Erde leitend verbunden iſt, von gleicher Größe befunden wird, der flüſſige Leiter mag wie immer beſchaffen ſeyn. Sind aber beide Pole iſolirt, ſo hängt deren Elektricität vom flüſſigen Leiter ab.

125. Bringt man die äußere Belegung einer Leidnerflaſche von beliebiger Größe mit einem Pole und die innere mit dem anderen in genaue Berührung; ſo wird dieſelbe ſchnell bis zu der Spannung geladen, welche dem Pole eigen iſt. Van Marum lud auf dieſe Art mit einer Säule von ganz kleinen Platten eine ungeheure Batterie augenblicklich zu einem Grade, wozu er ſonſt mehrere Umdrehungen ſeiner Rieſenmaſchine gebraucht hätte. Dieß gibt für die Einerleiheit der Elektricität der Säule mit jener der Maſchine einen ſchlagenden Beweis.

126. Werden die Pole einer thätigen Volta'ſchen Säule hinter einander durch verſchiedene Körper verbunden und jedesmal die

Spannung an den Polen unterſucht, ſo gelangt man zu ſehr intereſſanten Reſultaten: Einige Körper, wie z. B. die Metalle, heben die Spannung beider Pole vollkommen auf, und ſind demnach im Stande, ihre Elektricität gänzlich abzuleiten; man nennt ſie darum auch vollkommene Leiter. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß hiemit nicht geſagt ſeyn will, beſagte Metalle leiten alle Elektricität ab, welche die Elektromotoren zu erzeugen vermögen. Die Folge wird nämlich zeigen, daß der Polardraht auf die Elektromotoren zurückwirke und daß nur ein gewiſſer, von der Vollkommenheit noch weit entfernter Grad von Leitungsfähigkeit dazu gehöre, um zu verhindern, daß die Elektricität an den Polen nicht zu einer bemerkbaren Spannung anwachſen könne. Von dieſer Grenze an, hört dann wohl alle Spannung an den Polen auf, aber der Strom ſelbſt iſt mehr oder weniger intenſiv, je nachdem ihn der Polardraht mehr oder weniger gut leitet, oder mit andern Worten, je nachdem der Leitungswiderſtand des Schließungsdrahtes kleiner oder größer iſt. Es gibt auch Körper, welche die Spannung eines Elektromotors gar nicht ſchwächen, wenn ſie zum Schließen der Kette gebraucht werden, und dieſe können darum in Bezug auf die vorhandene Elektricität als Nichtleiter angeſehen werden; von der Art iſt Glas, Seide, Harz ꝛc. Es gibt Körper, die im ſtarren Zuſtande Nichtleiter, im tropfbaren hingegen Leiter ſind, wie z. B. Waſſer, Bleioxyd, Kali, Kaliumchlorid, Schwefelſelantimon, Borax; bei Queckſilberjodid findet aber das Gegentheil Statt. Wieder andere ſchwächen die beiden Pole der Säule nur, ohne ſie ganz aufzuheben, theilen ſich aber ſelbſt in zwei, mit elektriſcher Spannung begabte Hälften, und zwar erhält die mit dem + Pol verbundene Hälfte + E, die mit dem — Pol verbundene — E. Solche Körper behalten dieſen ihren elektriſchen Zuſtand noch lange Zeit, wenn ſie auch ſchon von der Säule getrennt worden ſind. Man nennt ſie zweipolige unvollkommene Leiter. Von der Art iſt naſſes Papier, eine Säule aus abwechſelnden Lagen von Metallplatten und mit einer Salzlöſung getränkten Tuchſcheiben, eine Reihe von Platinplatten, die in Schwefelſäure enthaltende Zellen tauchen und die wie die Platten eines Trogapparates mit einander verbunden ſind. Eine ſolche Säule nennt man Ladungsſäule oder ſecundäre Säule, wohl auch Ritter'ſche Säule. (Gilb. Ann. 19. 488.) Man kann jedes Element einer ſolchen Säule durch eine primäre kräftige Säule laden und erhält dann durch Zuſammenſtellung dieſer Elemente eine beſonders ſtarke ſecundäre Säule. Einer ſolchen Säule ähnlich iſt auch ein etwa eine halbe Linie dicker Silberdraht, deſſen beide Enden man abwechſelnd, eines mit dem poſitiven das andere mit dem negativen Pole einer ſtarken Säule in Verbindung gebracht und dieſes etwa eine Stunde in ſolcher Verbindung gelaſſen hat. Da erſcheint mittelſt eines guten Condenſators jedes Drahtende mit einer elektriſchen Spannung, und zwar das eine mit poſitiver, das andere mit negativer Elektricität (Zeitſchr. 9. 231. Pogg. Ann. 44. 44). Endlich gibt es auch Körper, welche, als Polardraht gebraucht,

nur die Elektricität eines Poles ableiten, die des anderen aber unverändert laſſen. Man nennt ſie einpolige Leiter, und zwar poſitiv oder negativ einpolige, je nachdem ſie die Elektricität des poſitiven oder negativen Poles wegnehmen. Zur erſteren Claſſe gehört die Flamme des Alkohols, des Wachſes, Oehles, des Waſſerſtoffgaſes; zur letzteren die trockene Seife, Bleiweiß, Phosphorflamme. Uebrigens bedarf letzterer Gegenſtand noch einer weiteren Unterſuchung, weil er wahrſcheinlich mit materiellen Veränderungen des Leiters in Verbindung ſteht. (Erman in Gilb. Ann. 22. 14. Ohm in Schweigg. J. 59. 385.)

127. Bei der Volta'ſchen Säule kommt wenigſtens eine Flüſſigkeit als Zwiſchenkörper vor; man kann aber auch aus lauter feſten Leitern eine Säule bauen, die daher mit Recht den Namen einer trockenen Säule führt. Die berühmteſten Säulen dieſer Art ſind die vom Zamboni. (Gilb. Ann. 49, 35, 47, 183; 51. 182; 55. 472.) Sie beſtehen aus Gold- und Silberpapier, wohl auch aus bloßem Silber- oder Goldpapier, das auf der Papierſeite mit Manganoxyd eingerieben iſt. Bringt man einige Tauſend ſolcher Platten in gehöriger Ordnung in eine gläſerne Röhre, verſieht ſie oben mit einem leitenden Knopfe, ſo wirkt die ſo entſtandene Säule nicht bloß auf ein Elektroſkop kräftig ein, ſondern wenn man zwei ſolche Röhren nahe an einander ſtellt, ſo daß in einer die Goldſeite, in der andern die Silberſeite des Papiers aufwärts gekehrt iſt; ſo kann ein zwiſchen ſie geſtelltes, zartes, iſolirtes Pendel abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen werden, mit einer Kraft, die man ſo weit verſtärken kann, daß ſie ein Uhrwerk in Bewegung ſetzt. Fig. 231 ſtellt dieſe Säule vor. Die Wirkſamkeit einer ſolchen Säule iſt aber keineswegs von der Art, daß dadurch einer Uhr eine gleichförmige Bewegung ertheilt werden könnte, ſondern ſie nimmt ab, wenn die Luftfeuchtigkeit wächſt, wird ſtärker wenn die Temperatur ſteigt, und zwar faſt im geraden Verhältniſſe mit der Temperaturveränderung, wenn dieſelbe langſam eintritt (Zeitſchrift. 7. 360). Durch die Feuchtigkeit des Papiers wird ihre Kraft geſteigert, aber nach Jäger's Erfahrungen (Gilb. Ann. 62. 227) zeigt ſich ſelbſt eine Säule aus möglichſt getrocknetem Papiere noch wirkſam. Watkins (Pogg. Ann. 14. 380) hat eine trockene Säule aus einem einzigen Metalle gebaut. Er wählt dazu Zinkplatten, die er auf einer Fläche polirt, auf der anderen rauh läßt und ſie in einen Trog ſo einſetzt, daß alle polirten Flächen nach derſelben Seite hinſehen und zwiſchen je zwei Platten eine etwa $^1/_4$ Linie dicke Luftſchichte bleibt. Hier vertreten die zwei verſchiedenen Flächen die zwei Metalle, und die zwiſchen zwei Metallplatten befindliche (feuchte) Luftſchichte das Papier.

Trockene Säulen hat man aus verſchiedenen Körpern gebaut. So z. B. hat deren Behrens aus Flintenſteinen, die einerſeits mit Zink, andererſeits mit Kupfer überzogen waren, Deluc aus Goldpapier und verzinntem Eiſenbleche, Biot aus Zink, Kupfer und Salpeterſcheiben, Jäger aus Zink, Kupfer, Firniß und Harz oder Seide, Ritter aus Zink, Kupfer und trockenem Schafleder, Kämtz aus vielen

organiſchen Stoffen, wie z. B. aus Zucker und Hefen, Wachs und Leinöhl, Gummi und Salep ꝛc. conſtruirt. (Schweigg. J. 56. 1.)

128. Hängt man ein ſchmales Goldblättchen zwiſchen zwei kleine zamboniſche Säulen, deren Pole eine entgegengeſetzte Lage haben, ſo erhält man das ſeiner Empfindlichkeit wegen beſonders zu empfehlende Bohnenberger'ſche Elektroſkop. Da ſich hier das Goldblättchen zwiſchen zwei Körpern befindet, deren einer fortwährend + E, der andere — E beſitzt, ſo wird es in ſeinem natürlichen Zuſtande nach beiden Seiten gleich ſtark gezogen und bleibt daher in Ruhe. So wie es aber eine geringe elektriſche Spannung, z. B. von + E empfängt, ſo wird es gegen den einen Pol (— E) hingezogen und zugleich von dem andern (+ E) abgeſtoßen, was eine doppelte Kraftäußerung gibt. Aus der Richtung der Bewegung des Goldblattes kann man daher ſogleich ohne weitere Probe die Art der ihm mitgetheilten Elektricität erkennen. Man kann auch mit einer einzigen Säule ausreichen, wenn man von den beiden Polen derſelben Spangen ausgehen läßt, zwiſchen welchen das Goldblatt hängt, wie Becquerel zuerſt gethan hat. (Bohnenberger in Tübinger Blätter 1. 380, oder Schweigg. J. 25. 159; Becquerel in Zeitſchr. n. F. 1. 188.)

129. Zamboni hat noch eine andere Säule erfunden, welche ein bemerkenswerthes Beiſpiel von Erregung elektriſcher Spannung bei dem Contacte eines feſten und eines tropfbaren Körpers liefert. Sie wird die zweielementige Säule genannt. Man erhält ſie, wenn man mehrere Zinnplättchen ſo ſchneidet, daß jedes in eine feine Spitze auslauft, ſie in mit Waſſer gefüllte Uhrgläſer ſo ſtellt, daß jedes Plättchen auf zwei neben einander ſtehenden Gläſern gleichſam reitet, und immer in ein Glas von einem ſolchen Plättchen die Spitze, von einem anderen der breitere Theil zu ſtehen kommt. Da bemerkt man an den äußerſten Plättchen eine elektriſche Spannung, die mehrere Tage anhält, ohne daß eine Veränderung an den Zinnplättchen wahrzunehmen wäre. Das Stielende des Zinnes hat in der Regel — E, das andere + E. (Gilb. Ann. 60. 151.) Wenn ſich die elektriſche Spannung verloren hat, welches meiſtens nach ein Paar Tagen geſchieht, ſo kann man ſie durch Zuſatz von etwas Kochſalz wieder erwecken.

130. Grove hat eine Säule conſtruirt, die bloß aus Platinſtreifen beſteht, welche mit einem Ueberzug lockeren Platinpulvers verſehen ſind und in Glasröhren tauchen, die abwechſelnd Sauerſtoffgas und Waſſerſtoffgas enthalten; die Gaſe ſind durch Schwefelſäure von 1. 2 ſp. Gewicht geſperrt. Der Platinüberzug dient dazu, eine Einſaugung der Flüſſigkeit zu bewirken und ſomit der Gasatmoſphäre eine große Metallfläche darzubieten. Je zwei Glasröhren, jede mit ihrer Platinplatte, befinden ſich in einem eben die Sperrflüſſigkeit enthaltenden Gefäße und jede Platte reicht bis in dieſe Flüſſigkeit und die Verbindung derſelben zu einer Batterie iſt ſo bewerkſtelliget, wie dieſes mit den Metallplatten eines gewöhnlichen Becherapparates ge-

ſchieht, wobei man eine in Sauerſtoffgas befindliche Platte als Zink-, eine in Waſſerſtoffgas tauchende als Kupferplatte betrachtet. Fig. 232 ſtellt eine ſolche Säule dar. Dieſe Säule bringt alle Wirkungen einer gewöhnlichen Volta'ſchen Batterie hervor und es erſcheint die äußerſte in Sauerſtoffgas befindliche Platte als poſitiver, die äußerſte in Waſſerſtoffgas befindliche als negativer Pol. Werden die Röhren mit atmoſphäriſcher Luft gefüllt, ſo erfolgt keine Wirkung; eben ſo wenig, wenn ſie Sauerſtoffgas und Stickgas oder Kohlenſäuregas und Stickgas enthalten; mit Waſſerſtoffgas und Stickgas iſt die Wirkung ſehr gering. Statt Schwefelſäure kann man auch Waſſer anwenden, doch wird die Wirkung mit letzterem geringer. Pogg. Ann. 58. 202. Phil. mag. April. 1844. 268. Mai. 346 u. Jun. 1844. 422.

131. Eine Volta'ſche Batterie oder auch nur ein einziges Element liefert, wenn beide Pole durch einen Elektricitätsleiter, mit einander verbunden werden, dieſer mag nun in einem Zuge fortlaufen oder durch eine Flüſſigkeit unterbrochen ſeyn, einen elektriſchen Strom. Der Strom eines einzigen Elementes iſt auch als einfach zu betrachten; jener einer Batterie hingegen iſt eine Summe von Strömen, die jedes einzelne Element liefert. Für den Strom eines Elements functioniren die übrigen Elemente bloß als Leiter. Was von einem ſolchen Strom 121 u. 122 geſagt wurde, gilt auch hier und man pflegt bei einer Batterie wie bei einem einzelnen Elemente der Kürze wegen ſich nur immer den poſitiven Strom vor Augen zu halten. Die Richtung deſſelben muß im Polardrahte vom poſitiven zum negativen Pole, in der Batterie ſelbſt vom negativen zum poſitiven Pole hin angenommen werden.

132. Die Wirkungen des elektriſchen Stromes einer Volta'ſchen Batterie ſind im Grunde keine anderen, als die eines einzelnen Elementes und von dieſen nur dem Grade nach verſchieden. Während die einfache Kette nur die Muskeln und Nerven der empfindlichſten Organe afficirt, aber keinen empfindlichen Schlag oder Stoß erzeugt, außer man wendet einen ſehr langen, ſpiralförmig gewundenen Polardraht an und führt dadurch ganz andere Verhältniſſe herbei, von denen erſt in der Folge näher die Rede ſeyn kann; ſo iſt eine mehrelementige Säule im Stande, ſchon an den Händen eine ſehr empfindliche Erſchütterung hervorzubringen. Berührt man nämlich mit den Fingern, nachdem man die Oberhaut durch Benetzen mit Salzwaſſer leitend gemacht hat, die beiden Pole einer ſolchen Säule von mindeſtens 50 Plattenpaaren, und ſchließt ſomit die Kette durch den eigenen Körper; ſo emfindet man einen Schlag wie von einer Leidnerflaſche, der aber, wenn die Säule ſtark genug iſt, durch längere Zeit anhält oder vielmehr in unmerklich kleinen Zwiſchenzeiten ſich immer wiederholt. Beim Oeffnen der Kette tritt ein ähnlicher Stoß ein. Er hängt von der Richtung des Stromes gegen den Verlauf der von ihm durchſtrömten Nerven ab. Geht er dem Verlauf des Nerves nach, ſo haben beide Erſchütterungen, die beim Schließen und die beim Oeffnen der Kette erregte, einerlei Stärke, hat er aber eine entgegengeſetzte Richtung, ſo

iſt die beim Oeffnen ſtärker als die beim Schließen; doch iſt dieſer Unterſchied nicht für alle Individuen gleich ſtark bemerklich (Zeitſchr. 8. 90). Der Schlag einer kräftigen Batterie kann durch mehrere Perſonen, die ſich mit den Händen faſſen, geleitet werden. An wunden Stellen iſt die Affection beſonders ſchmerzhaft. Faßt man ein größeres Stück Metall, das mit dem Polardrahte communicirt, in die Hand und vergrößert ſo die Anzahl der Berührungspuncte, ſo wird der Schlag viel ſtärker. Auch Vegetabilien ſind für den elektriſchen Strom empfindlich. Giudo hat mittelſt einer Säule von 50 Elementen an der Mimosa pudica, mimosa sensitiva und asperata Bewegungen hervorgebracht. Starke Ströme desorganiſiren die Pflanzen.

133. Der Strom einer Volta'ſchen Batterie afficirt auch die übrigen Sinne auf eine höchſt merkwürdige Weiſe. Berührt man einen Pol mit einer Hand, bringt den andern mit irgend einem Theile des Geſichtes in leitende Verbindung; ſo bemerkt man im Augenblick des Schließens der Kette einen Lichtſchein; ſchließet man den Kreis einer Säule von 30—40 Elementen durch die Ohren, indem man die von den Polen kommenden Drähte wie Sonden in die Gehörgänge ſteckt, ſo erhält man eine ſtarke Erſchütterung am Kopfe und empfindet zugleich ein beſonderes Geräuſch In der Naſe ſoll nach Ritter der negative Pol ein Nieſen erregen, der poſitive aber die Empfindlichkeit herabſtimmen. Auf der Zunge erzeugt der poſitive Pol einen ſauren, der negative einen alkaliniſchen Geſchmack (Lehrbuch des Galvanismus von Fechner. Leipzig 1829, S. 485 u. f.)

134. Schon früher iſt erwähnt worden, daß ein Volta'ſches Element einen feinen kurzen Platindraht glühend machen kann; eine nach Grove oder Bunſen conſtruirte Batterie mit nicht zu kleinen Elektromotoren von geringer Anzahl bringt ſchon einen viel dickern Platindraht zum Glühen und kann einen Eiſendraht völlig ſchmelzen. Bildet der als Stromleiter dienende Platindraht an einer Stelle eine coniſche Spirale; ſo kann man in dieſelbe einen kleinen Schmelztiegel einſetzen und darin Schmelzverſuche machen. Es kann hier nicht auf die Größenbeſtimmungen der thermiſchen Wirkungen einer zuſammengeſetzten Kette eingegangen werden, und es muß genügen, anzuführen, daß ſich die Quantität der durch einen ſolchen Strom entwickelten Wärme nach der Menge der ſtrömenden Elektricität und nach dem Widerſtande richtet, den ſie in dem zu erwärmenden Leiter erfährt. Ein dünner und kurzer Draht kann leichter zum Glühen gebracht werden als ein dickerer und längerer, und je mehr Widerſtand er dem elektriſchen Strom entgegenſetzt, deſto mehr wird er erhitzt. Daher kommt es, daß wenn ein Polardraht aus abwechſelnd an einander gelötheten gleich dicken Stücken von Platin- und Silberdraht beſteht, durch einen Strom von großer Stärke nur die Platindrähte, nicht aber die mehr leitenden Silberdrähte glühend werden. Iſt der Platindraht aus Stücken von Platin und Eiſen zuſammengeſetzt, ſo wird der Eiſendraht ſchon glühend, wenn dieſes mit dem Platindrahte noch nicht der Fall iſt, und in der That iſt Eiſen ein ſchlechterer Leiter als Platin. (Pogg.

Ann. 15. 257). Ein homogener Draht wird in ſeiner ganzen Länge gleich warm, nur an den Stellen, wo er mit der Säule verbunden iſt, haben auch die angrenzenden Körper auf ſeine Erwärmung Einfluß.

Merkwürdig iſt in dieſer Hinſicht ein Verſuch, der mit einer Daniell=ſchen Batterie von 160 Zellen angeſtellt worden iſt: Als man die Polardrähte ſich kreuzen ließ, ohne daß ſie ſich an der Kreuzungsſtelle berührten, ging ein Lichtſtrom durch die ſie unterbrechende Luftſchichte und es wurde der poſitive Draht von der Kreuzungsſtelle bis zum freien Ende hin, bis zum Erweichen glühend, währeud der negative Draht kalt blieb. (Pogg. Ann. 55. 62.)

135. Für Stellen eines Schließungsdrahtes, wo ſich heterogene Metalle berühren, gelten eigene Erwärmungsgeſetze und es wird im Allgemeinen die Temperatur ſolcher Stellen mehr erhöht, wenn der (poſitive) Strom vom ſchlechteren Leiter zum beſſeren geht, als wenn er die umgekehrte Richtung hat. Kryſtalliſirte Metalle, wie Wismuth, Antimon ꝛc. unter ſich oder mit einem nicht kryſtalliſirten, wie Kupfer, verbunden, erleiden an der Verbindungsſtelle durch einen Strom von beſtimmter Stärke keine Temperaturveränderung, durch einen minder ſtarken aber eine Erkaltung, durch einen ſtärkeren eine Erwärmung. (Peltier in Ann. de Chim. et de Phys. 56. 371).

136. Beim Schließen ſowohl als beim Oeffnen der Kette zeigen ſich Funken. Dieſe ſind zwar immer ſehr intenſiv und kurz, hat man aber die Polardrähte bis zum Unterſchlagen von Funken wieder genähert, ſo erlaubt die durch den Funken bewirkte Luftverdünnung einen weiteren Abſtand derſelben von einander und ſomit eine Vergrößerung der Schlagweite. Noch mehr iſt dieſes der Fall, wenn man den Verſuch in verdünnter Luft macht. Auf ſolche Weiſe hat H. Davy die vorerſt nur $^1/_{30}$ Z. langen Funken der großen Londoner Batterie aus 2000 Plattenpaaren von 32 Q. Z. Oberfläche bis auf 4 Z. verlängern können. Die ſtärkſten Funken erhält man aus langen, ſpiralförmig gewundenen Drähten. Gut leitende Kohlen, an die Enden der Polardrähte angeſetzt, werden durch einen entſprechenden Strom an den Spitzen glühend und können dann weiter von einander entfernt werden, ohne daß das Glühen unterbrochen wird. Der dabei entſtehende Lichtbogen hat Sonnenhelle und ſcheint von ſtark glühender, verflüchtigter Kohle herzurühren. Bei Davy's Verſuchen wurden innerhalb dieſes Lichtbogens Quarz, Saphir und Kalk verflüchtiget. Sechs Elemente von einer Zinkplatte von 3 Z. Höhe und 4 Z. Breite, und nach Bunſens Art mit Kohle combinirt, erzeugen ſchon einen ſolchen Bogen, den das Auge nicht vertragen kann. Es ſcheint mit den Funken dieſer Art immer ein Verbrennen der betreffenden Leiter verbunden zu ſeyn und davon die Farbe der Funken herzurühren.

137. Außer den ſo eben erwähnten phyſiologiſchen und phyſikaliſchen Wirkungen bringt der elektriſche Strom einer einfachen oder zuſammengeſetzten Kette noch andere gleich merkwürdige Effecte hervor, die eine abgeſonderte Betrachtung erfordern. Er erzeugt nämlich

chemiſche Zerlegungen und ruft Magnetismus, ja ſelbſt wieder andere elektriſche Ströme hervor. Von dieſen wird im Folgenden ausführlich die Rede ſeyn.

Achtes Kapitel.

Chemiſche Wirkungen des elektriſchen Stromes (Elektrochemie).

138. Zu den wichtigſten Wirkungen elektriſcher Ströme gehören die Zerlegungen chemiſch zuſammengeſetzter Stoffe. Von ſolchen Wirkungen momentaner Ströme, ſogenannter Entladungen, iſt ſchon früher (108) die Rede geweſen, doch ſind die durch den Strom einer Volta-ſchen Kette erzeugten beſonders geeignet, die Geſetze dieſer Zerlegungen ins gehörige Licht zu ſtellen.

Beabſichtiget man die Zerlegung eines Körpers durch den elektriſchen Strom einer Volta'ſchen Batterie, ſo wird er ſo in den elektriſchen Kreis eingeſchoben, daß ihn die poſitive Elektricität nach einer, die negative nach der entgegengeſetzten Richtung durchſtrömt; doch iſt dieſes nicht im Allgemeinen nothwendig, ſondern es genügt ſchon entweder der poſitive oder der negative continuirlich abfließende Strom für ſich allein. Damit ein chemiſch zuſammengeſetzter Körper durch den elektriſchen Strom zerlegt werden könne, muß er vor Allem die Elektricität leiten, dann müſſen ſeine Theilchen eine hinreichende Beweglichkeit haben, mithin entweder unmittelbar oder mit Hilfe eines Auflöſungsmittels im tropfbaren Zuſtande ſich befinden. Allein nicht jeder Körper, bei dem dieſe Bedingungen eintreffen, wird deßhalb ſchon durch einen elektriſchen Strom, unter welcher Form dieſer auch angewendet werden möge, zerſetzt; man unterſcheidet daher die durch ſtrömende Elektricität zerſetzbaren zuſammengeſetzten Stoffe von jenen, die es nicht ſind. Die erſten nennt man nach der von Faraday eingeführten Terminologie Elektrolyte, und die Beſtandtheile, in welche ein Elektrolyt durch den elektriſchen Strom zerlegt wird, Jonen. Der Act der Trennung der Jonen heißt Elektrolyſirung. Gibt es mehrere Verbindungsſtufen derſelben Beſtandtheile, ſo iſt, wie die Erfahrung lehrt, höchſtens nur eine derſelben ein Elektrolyt; auch gibt es Stoffe, die bis jetzt nicht als Jonen erſchienen ſind.

139. Das einfachſte Beiſpiel einer Elektrolyſirung bietet das Waſſer dar. Schon eine einfache Kette kann die Zerſetzung deſſelben hervorbringen, wenn nur die dazu nöthigen Bedingungen erfüllt ſind, nämlich die Leitungsdrähte die entſprechende Form beſitzen, aus dem gehörigen Stoffe beſtehen, wenn die vom Strome zu gewältigende Waſſerſchichte nicht zu dick und leitend genug iſt, endlich wenn die frei werdenden Gaſe nicht durch ſtarken Druck zuſammengepreßt und nicht gehindert werden, ſich von den Polardrähten frei zu machen und die

ſonſt durch ſie unterbrochene Leitung wieder herzuſtellen; doch iſt nicht ausgemacht, ob jeder elektriſche Strom, der das Waſſer durchſtrömt, auch ſchon eine entſprechende Zerſetzung bewirke, oder ob dazu ein Strom von beſtimmter Stärke erforderlich ſey. Mit Leichtigkeit geht die Waſſerzerſetzung mittelſt einer Batterie aus mehreren Elementen vor ſich. Verbindet man nämlich zwei in Waſſer tauchende Platindrähte mit den Polen der Batterie, ſo ſieht man gleich nach Schließung der Kette, zumal, wenn die Leitungsfähigkeit des Waſſers durch Zuſatz von etwas Schwefelſäure erhöht worden iſt, an dieſen Drähten Gasblaſen aufſteigen; bei Oeffnung der Kette hört dieſer Vorgang gleich auf. Um die Beſchaffenheit der Gaſe und das quantitative Verhältniß, in welchem ſie ſich entwickeln, bequem unterſuchen zu können, bedient man ſich eines Apparates von der Einrichtung des in Fig. 233 abgebildeten, der eine kleine pneumatiſche Wanne vorſtellt, in welche zwei aus Glasröhren verfertigte und mit Volumſcalen verſehene Recipienten eingeſetzt ſind, deren Mündungen über den Enden der durch den Boden der Wanne geführten, gerade aufſteigenden Drähte oder Platten von Platin ſich befinden. Die erhaltenen Gaſe charakteriſiren ſich als Sauerſtoff- und als Waſſerſtoffgas und erſcheinen gerade in dem Verhältniſſe, in welchem ſie Waſſer bilden, wenigſtens in ſo fern man von der geringen Menge atmoſphäriſcher Luft, die ſich aus der Flüſſigkeit, in der ſie abſorbirt war, in Freiheit ſetzen konnte, und von dem Verluſte, den die entſtehenden Gaſe durch Abſorption von Seite der Flüſſigkeit erlitten haben, abſtrahirt. Hier iſt alſo ohne Zweifel eine Zerlegung des Waſſers durch den elektriſchen Strom vor ſich gegangen. Aller Sauerſtoff erſcheint ſtets an dem Drahte, der mit dem poſitiven Pole der Batterie in Verbindung ſteht, und der Waſſerſtoff an dem andern Drahte. Dieſer Umſtand hat dem poſitiven Pole der Volta'ſchen Säule die Benennung Sauerſtoffpol und dem negativen die Benennung Waſſerſtoffpol zugezogen. Endiget ſich der vom poſitiven Pole ausgehende Leitungsdraht im Waſſer in ein leicht oxydirbares Metall, ſo erſcheint dann kein Sauerſtoff, aber das Metall wird oxydirt.

Mit einer einfachen Volta'ſchen Kette erhält man die Zerlegung des Waſſers nicht leicht. Nach Andrews werden Spuren davon wahrgenommen, wenn man einen der Polardrähte in eine Platinſpitze, den andern in eine Platinplatte ausgehen läßt und die Spitze der Platte möglichſt nahe ſtellt. Es ſcheint, daß ſonſt die in ſo geringer Menge ſich entwickelnden Gaſe bei ihrem Entſtehen ſogleich von der Flüſſigkeit abſorbirt werden, wenn es nicht etwa gar eine Grenze gibt, über welche die Stromintenſität ſich erheben muß, um eine Zerſetzung zu bewirken. Dagegen zeigt ſich die Zerlegung des Waſſers in der Flüſſigkeit ſelbſt, womit eine einfache Kette geladen iſt, wenn man die Metalle derſelben, z. B. Zink und Kupfer, außer der Flüſſigkeit leitend verbindet, und zwar wird der Waſſerſtoff am Kupfer, der Sauerſtoff am Zink entwickelt, aber gleich zur Oxydirung des letzteren verwendet. Hiernach erklärt ſich der bereits in (121) beſchriebene Verſuch. Die Affinität des poſitiven Polardrahtes zum Sauerſtoff des Waſſers unterſtützt die Waſſerzerſetzung, und daher kommt es, daß ein oxydirbarer Draht dieſe Zerſetzung leichter bewirkt, als Draht

von Platin oder Gold. Auf ähnliche Weiſe wirkt ein Zuſatz von Chlor, Brom ꝛc. vermöge der Verwandtſchaft dieſer Stoffe zum Waſſerſtoff. Verdünnung der Luft über dem Waſſer erleichtert das Aufſteigen der Gasblaſen und legt die Drahtenden wieder frei, wodurch ebenfalls die Zerſetzung begünſtiget wird. (Andrews in Pogg. Ann. 41. 666; Schönlein ebend. 59. 421; La-Rive ebend. 59. 420.) Was zwiſchen den zwei Platten eines Elementes vorgeht, tritt auch in jeder einzelnen Zelle der Volta'ſchen Säule nach deren gewöhnlicher Einrichtung, wo ſie aus Zink, Kupfer und verdünnter Säure beſteht, ein. Da der (poſitive) elektriſche Strom im Schließungsleiter der Säule vom poſitiven Pole zum negativen, in der Säule ſelbſt vom negativen zum poſitiven geht, oder anders ausgedrückt, da der Strom dort, wo ſich in der Säule Kupfer und Zink metalliſch berühren, die Richtung vom Kupfer und Zink hat; ſo kann man auch allgemein ſagen, der Waſſerſtoff erſcheine ſo, als ob er in der Richtung des Stromes fortgeführt würde und der Sauerſtoff ſo, als ob er dem Strome entgegen ginge.

140. Auf ähnliche Weiſe, wie in dem ſo eben angeführten Falle das Waſſer, verhalten ſich noch viele andere zuſammengeſetzte Stoffe unter dem Einfluſſe eines elektriſchen Stromes; ſie zerfallen in die Jonen, aus denen ſie beſtehen. So gibt Salzſäure am poſitiven Pole Chlor, am negativen Waſſerſtoff; Kali oder Natron zerlegen ſich, wie Davy zuerſt fand, in Sauerſtoff, der zum poſitiven Pole wandert, und in das Metall, welches am negativen Pole erſcheint; ſchwefelſaures Natron (Glauberſalz) ſetzt am poſitiven Pole freie Säure, am negativen das Alkali ab u. dgl. m. Doch muß hier ſogleich bemerkt werden, daß die Zerſetzungsproducte ſich nicht immer ſo an den Polen einfinden, wie ſie durch den elektriſchen Strom geſondert werden. Gleichwie nämlich ein Polardraht aus einem leicht oxydirbaren Metalle von dem bei der Waſſerzerſetzung an ihm auftretenden Sauerſtoffe angegriffen wird, daher der Sauerſtoff ausbleibt, während der Waſſerſtoff, der zu einem ſolchen Metalle keine große Verwandtſchaft zeigt, ſich an demſelben entwickelt; eben ſo können die Jonen nicht bloß mit dem von der Säule ausgehenden Stromleiter, ſondern auch mit den Beſtandtheilen des Auflöſungsmittels der zu zerſetzenden Subſtanz, indem dieſes gleichzeitig zerlegt wird, in Verbindung treten. Dadurch kann die wahre Beſchaffenheit der durch den elektriſchen Strom unmittelbar erhaltenen Zerſetzungsproducte und die Richtung, welche ſie bezüglich der Pole einſchlagen, in Zweifel geſtellt werden; ja es läßt ſich der Fall denken, daß durch den elektriſchen Strom eigentlich nur das Auflöſungsmittel zerlegt wird, und erſt die aus demſelben entſpringenden Jonen die Zerlegung der aufgelöſten Subſtanz herbeiführen, welche man hier fälſchlich auf Rechnung des elektriſchen Stromes ſetzen würde. In dieſer Hinſicht ſpielt das Waſſer eine wichtige Rolle. So gibt z. B. wäſſerige Jodkaliumlöſung am poſitiven Pole Jod, am negativen Waſſerſtoffgas, während das Kalium mit dem Sauerſtoffe des Waſſers Kali bildet; ſchwefelſaures Kupferoxyd in Waſſer gelöſt gibt am poſitiven Pole Sauerſtoffgas, am negativen metalliſches Kupfer, während in der Flüſſigkeit ſich freie Säure vorfindet; eſſigſaures Bleioxyd gibt am poſitiven Pole Bleiſuperoxyd, am negativen Pole metal-

liſches Blei. In den beiden letzteren Fällen iſt wohl der Analogie mit der Zerlegung des ſchwefelſauren Natrons und anderen ähnlichen Fällen gemäß anzunehmen, daß von Seite des elektriſchen Stromes das Metalloxyd zu dem negativen, die Säure zu dem poſitiven Pole zu gehen beſtimmt ſey, daß aber der Waſſerſtoff des Waſſers zur Reduction des Metalles diene, ſo wie bei der Zerlegung des eſſigſauren Bleioxydes der Sauerſtoff des Waſſers ſich mit dem Blei verbindet.

Jodkaliumlöſung wird durch einen ſehr ſchwachen elektriſchen Strom zerſetzt, iſt daher ein empfindliches Reagens für ſtrömende Elektricität, dem Froſchpräparate (122) vergleichbar. Die durch das frei werdende Jod bewirkte Färbung der Maſſe trägt vornehmlich zur leichten Wahrnehmung der beginnenden Zerlegung bei. Schon eine zamboniſche Säule zerſetzt Jodkalium, wohl auch, wenn ſie etwas kräftiger wirkt, Glauberſalzlöſung. Die Grove'ſche Gasbatterie gewältiget Chlorwaſſerſtoffſäure und mit Schwefelſäure verſetztes Waſſer. (Grove in Pogg. Ann. 58. 202. Phil. mag. April 1844. p. 268. Rieß in Dove's Rep. 2. 48) Dieſe Löſungen werden nach Faraday's Methode in Fließpapier aufgeſaugt zwiſchen Staniolſpitzen auf eine Glastafel gelegt. Bringt man zwiſchen eine kleine längliche Platin- und eine gleiche Zinkplatte, die ſich nicht metalliſch berühren, auf der einen Seite etwas Jodkaliumlöſung, auf der andern verdünnte Schwefelſäure, der man etwas Salpeterſäure zugeſetzt hat, ſo findet beiderſeits Zerlegung Statt; die verdünnte Säure gibt am Zink Sauerſtoff, am Platin Waſſerſtoff; das Jodkalium am Platin Jod, am Zink freies Alkali, deſſen Auftreten ſich an einem Reagenzpapiere (Curcumäpapier) nachweiſen läßt. Berühren ſich aber das Platin und Zink metalliſch, ſo erfolgt gleichfalls Zerlegung des Jodkaliums, aber die Jonen erſcheinen in umgekehrter Ordnung.

Elektrochemiſche Zerlegungen ſtellen ſich in der Natur viel häufiger ein, als man beim erſten Blicke wohl glauben möchte. Wo immer zwei heterogene Körper ſich berühren, entſteht eine galvaniſche Kette, die durch einen dritten Körper ausgeladen wird und chemiſche Wirkungen erzeugt. So ſchmeckt Wein aus einer zinnernen Kanne anders, als aus einem gläſernen oder thönernen Gefäße, weil hier die Flüſſigkeit der Lippen und der Wein eine Kette bilden, die durch das Zinn entladen wird; Kupferplatten mit eiſernen Nägeln zuſammengenagelt gehen bald zu Grunde; gelöthete Gefäße werden zuerſt an den Löthſtellen matt; Queckſilber mit einem andern Metalle gemiſcht, oxydirt ſich leichter, als wenn es rein iſt; bleierne, kalkführendes Waſſer enthaltende Röhren werden nur an jenen Stellen durch abgeſetzten Kalk verſtopft, wo ſie zuſammengelöthet ſind. Selbſt die Veränderungen, welche organiſche Stoffe, ſogar lebende Pflanzen durch einen elektriſchen Strom erleiden, rühren von der Ausſcheidung gewiſſer Beſtandtheile her. Ein friſches Lorberblatt wurde bei Davy's Verſuchen durch einen anhaltenden elektriſchen Strom braun, weil der grüne Färbeſtoff, ſo wie das Harz des Blattes zum negativen Pole übertragen wurde; eine friſche Münze (mentha) ſtarb durch den Einfluß eines elektriſchen Stromes und man fand, daß ſich am negativen Pole Kali und Kalk, am poſitiven Säure abgeſchieden habe. Auch jener Stoff, welcher den eigenthümlichen Geruch erregt, welchen man bald in der Nähe einer in Thätigkeit geſetzten Elektriſiemaſchine oder nach der Entladung einer ſtarken Batterie empfindet, ſcheint ein Product des elektriſchen Stromes zu ſeyn. Daß dieſes von einem eigenthümlichen Stoffe herrühre, unterliegt kaum mehr einem Zweifel, ſeitdem Schönbein

nachgewieſen hat, daß man dieſen Geruch dem Waſſer mittheilen kann. Man hat ihn Ozon genannt und hält ihn für die Verbindung von Waſſerſtoff mit einem bisher noch unbekannten Salzbilder. (Schönbein in Pogg. Ann. 50. 616; 59. 240.)

141. Um den Hergang elektrochemiſcher Zerſetzung und die davon abhängenden Erſcheinungen aus dem rechten Geſichtspuncte zu betrachten, iſt es zweckdienlich, die in hohem Grade naturgemäße Anſicht derſelben, zu welcher ſchon Grotthuß den Grund gelegt hat, die aber ſpäter von Faraday ausgebildet und gewiſſermaßen berichtiget wurde, vor Augen zu haben. Es ſeyen A, A′, A″, A‴, ... Theilchen des einen Jons, B, B′, B″, B‴, ... Theilchen des andern Jons eines Elektrolyten, mithin AB, A′B′, A″B″, A‴B‴, ... die Theilchen des Elektrolyten ſelbſt. Die Art der Elektrolyſirung läßt ſich nicht anders begreifen, als durch die Annahme, daß die Verwandtſchaft der Theilchen B, B′, B″, ... zu den in der Richtung des Stromes liegenden A′, A″, A‴, ... und eben ſo die Verwandtſchaft der letzteren zu den in der entgegengeſetzten Richtung liegenden unter den erſteren, durch den Einfluß des elektriſchen Stromes erhöht werde. Dieß hat zur Folge, daß die anfängliche Gruppirung einer gewiſſen Anzahl unmittelbar auf einander folgender Theilchen des Elektrolyten, z. B. AB, A′B′, A″B″, A‴B‴ im nächſten Augenblicke in A, A′B, A″B′, A‴B″, B‴ übergeht u. ſ. w. Hier kommen nun folgende Fälle in Betrachtung: 1) Die an den äußerſten Puncten der neugebildeten Reihe ſtehenden Theilchen A und B‴ finden keinen Stoff, mit dem ſie eine chemiſche Verbindung eingehen können. In dieſem Falle werden ſie ausgeſchieden und in Freiheit geſetzt. 2) Sie grenzen an Theilchen eines im Schließungskreiſe befindlichen, d. h. als Elektricitätsleiter dienenden heterogenen Stoffes, zu welchem ſie Verwandtſchaft haben. Dann gehen ſie mit dieſen Theilchen eine Verbindung ein. Nun kommt es wieder darauf an, ob dieſe Verbindung in der umgebenden Subſtanz löslich iſt oder nicht. Iſt letzteres der Fall, ſo wird die unlösliche Verbindung ausgeſchieden, findet aber 3) der andere Fall Statt, ſo wird der Austauſch der Theilchen auch durch das neue Medium hindurch nach derſelben Richtung fortgeſetzt, bis ſich endlich, was jederzeit eintritt, ein Stoff vorfindet, der dieſe äußerſten Theilchen entweder in Freiheit läßt oder vollkommen feſſelt.

Als Beleg für 1) dient die Zerſetzung des Waſſers mittelſt Platindrähten. Es iſt aber gar nicht nöthig, daß die Körper, woran die Jonen in Freiheit geſetzt werden, feſte Körper ſeyen; tropfbare können denſelben Dienſt leiſten, wie nachſtehender von Faraday herrührender Verſuch zeigt: Man theile die obere Hälfte eines Glasgefäßes A (Fig. 234) durch eine Glimmerplatte m in zwei Abtheilungen a und b, fülle in dasſelbe eine ſtarke Löſung ſchwefelſaurer Bittererde ein, bis ſie etwa 1 Zoll über den unteren Rand der Scheidewand reicht, und gieße dann in eine Abtheilung auf die Salzlöſung behutſam eine Schichte Waſſer. Taucht man nun in die bloß Salzlöſung enthaltende Abtheilung b den poſitiven, in die andere a den negativen Polardraht, deren jeder in eine Platinplatte ſich endiget, die zu letzterem gehörende aber ſo, daß ſie nicht bis zur Salzlöſung hinabreicht; ſo wird alſogleich eine

Blaſenentwicklung eintreten und die Salzlöſung zerſetzt werden. Aber die an der Seite des negativen Poles frei werdende Bittererde häuft ſich nicht an der Polplatte an, ſondern bleibt an der Grenzfläche des Waſſers und der Salzlöſung. Zum Beweiſe für 2) und 3) vertheile man die zu zerſetzende Flüſſigkeit, z. B eine wäſſerige Glauberſalzlöſung, in mehrere Gefäße A, B, C (Fig. 235), ſtelle dieſelben in eine Reihe zuſammen, verbinde ſie mit einander leitend durch angefeuchtete Asbeſtfäden und tauche dann die Polardrähte a und f in die zwei äußerſten Gefäße. Da findet nun in dieſen ein Freiwerden der Beſtandtheile des zerſetzbaren Stoffes Statt, indem nämlich, wenn a vom poſitiven Pole kommt, in A Säure, in C Alkali, in B keines von beiden erſcheint; denn das Ganze ſtellt gleichſam nur ein Gefäß, das mit Glauberſalzlöſung gefüllt iſt, vor. Wollte man aber ſtatt des Asbeſtes Drähte nehmen, ſo würde, wie es auch die Erfahrung wirklich beſtätiget, an a, c, e die Gegenwart freier Säure, an b, d, f jene von Alkali ſich durch die Reaction der Flüſſigkeit in ihrer Nähe kund geben. Füllt man nun, während A und C Glauberſalzlöſung enthalten und die Verbindung der Gefäße unter einander mittelſt der vorerwähnten, mit Waſſer getränkten Asbeſtfäden geſchieht, das mittlere Gefäß mit Barytwaſſer; ſo zeigt ſich bei f Alkali, allein bei a keine Säure, ſondern es fällt in dem Gefäße B unlöslicher ſchwefelſaurer Baryt nieder. Füllt man endlich, während b c und d e mit Salzlöſung getränkte Asbeſtfäden ſind, das mittlere Gefäß B mit Veilchenſyrup, ſo bemerkt man daran keine Spur der Einwirkung einer Säure oder eines Alkali, ungeachtet man annehmen darf, es werde die Säure von e nach d, das Alkali von b nach c übergeführt. So wunderbar auch eine ſolche Ueberführung ohne näheres Eingehen in den eigentlichen Verlauf der Sache erſcheinen mag, ſo iſt doch dieſelbe nicht nur eine Folge der obigen theoretiſchen Betrachtung, ſondern man ſieht ein, daß die Möglichkeit der Ueberführung durch die Verwandtſchaft des übergeführten Stoffes zu dem Medium, durch welches er geht, bedingt wird, und um ſo beſſer erfolgt, je kräftiger dieſe Verwandtſchaft iſt. So z. B. hat Faraday gefunden, daß, wenn verdünnte Schwefelſäure und eine ſolche Quantität einer wäſſerigen Glauberſalzlöſung, welche eben ſo viel Säure enthält, zugleich einem und demſelben elektriſchen Strom ausgeſetzt wurden, von der Schwefelſäure in erſterer Flüſſigkeit $2^1/_2$ — 3mal weniger von einem Pole zum andern fortgeführt wurde, als von eben dieſer Säure in letzterer, ungeachtet die Verwandtſchaft der Schwelſäure zum Natrum viel größer iſt, als zum Waſſer.

142. Man glaubte früher, daß die Verſchiedenheit der Anziehung, welche die Pole oder Enden der Polardrähte in Folge des elektriſchen Stromes auf die Beſtandtheile des zu zerlegenden Stoffes ausüben, die Kräfte ſeyen, welche die heterogenen Theilchen dieſes Stoffes nöthigen, ihre relative Stellung zu ändern. In Folge deſſen dachte man ſich dieſe Theilchen ſelbſt mit poſitiver und negativer Elektricität begabt und ſah die Sache ſo an, als würden die negativ elektriſchen Theilchen zum poſitiven und die poſitiv elektriſchen zum negativen Pole der Säule ſtärker hingezogen, als ſie unter ſich zuſammenhängen. Einen Stoff, der zum poſitiven Pole wandert, während ein anderer, der mit ihm verbunden war, zum negativen Pole geht, nannte man in Bezug auf letzteren elektro-negativ, und dieſen in Bezug auf jenen elektro-poſitiv. Allein Faraday's wohl gewählte Ver-

ſuche (141) haben gelehrt, daß die Producte der elektrochemiſchen Zerlegung nicht von den Polen angezogen, ſondern nur an ihnen ausgeſchieden werden, und daß die Pole hiebei von jeder andern in dem Schließungskreiſe vorkommenden Subſtanz vertreten werden können, ſobald nur dieſe mit dem ausgeſtoßenen Jon keine chemiſche Verbindung eingeht. Alles kommt auf die Richtung des elektriſchen Stromes an. Die Pole ſind nur als die Thore zu betrachten, durch welche derſelbe ein- und austritt oder von welchen aus vielmehr eine gewiſſe Wirkung, deren Urſache wir mit dem Worte Strom bezeichnen, ſich fortpflanzt. Faraday hat daher für dieſe Eintritts- oder Austrittswege der elektriſchen Action paſſendere Benennungen vorgeſchlagen; er nennt ſie Elektroden, die poſitive Elektrode insbeſondere heißt nach ihm die Anode, die negative die Kathode. Ein Jon, welches zur Anode wandert, heißt Anion, und ein zur Kathode gehendes Kation. So erſcheint alſo der Sauerſtoff bei der Waſſerzerlegung, wie auch in allen übrigen Fällen als Anion, der Waſſerſtoff als Kation.

Der ſogenannten elektrochemiſchen Anſicht gemäß ſucht man alle einfachen Stoffe in eine ſolche Reihe zu bringen, daß jeder vorangehende gegen jeden folgenden elektro-negativ iſt, mithin bei der Aufhebung der Verbindung mit letzteren durch Einfluß ſtrömender Elektricität an dem poſitiven Pole auftritt, der andere dagegen am negativen. Nach Berzelius (Lehrbuch der Chemie, 5te Aufl., Bd. 1, S. 118) wäre ungefähr dieſe Reihe (für die im Jahre 1843 beſtimmten einfachen Stoffe) folgende: Sauerſtoff, Schwefel, Selen, Stickſtoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Phosphor, Arſenik, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Bor, Kohlenſtoff, Antimon, Tellur, Tantal, Titan, Kieſel, Waſſerſtoff, Gold, Osmium, Jridium, Platin, Rhodium, Palladium, Queckſilber, Silber, Kupfer, Wismuth, Zinn, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Eiſen, Zink, Mangan, Uran, Cer, Thorium, Zirkonium, Aluminium, Didym, Lanthan, Yttrium, Beryllium, Magneſium, Calcium, Strontium, Baryum, Lithium, Natrium, Kalium. Nach dieſer Anſicht wird bei der Zerleguug eines Salzes der negative Stoff als die Säure, der poſitive als die Baſis betrachtet; der negative Beſtandtheil einer Säure muß als das ſäurende Princip, der poſitive als das Radical gelten. Sonach wäre in der Waſſerſtoffſäure der Waſſerſtoff das Radical, in den Sauerſtoffſäuren der Sauerſtoff (der negativſte aller Stoffe) das ſäurende Princip, mithin eine Eintheilung der Säuren, bei welcher Sauerſtoff- und Waſſerſtoffſäuren als Glieder erſcheinen, logiſch unrichtig und daher unzuläßig (vergl. I. 89). Die ſchweren Metalle theilt Berzelius, je nachdem ſie eine größere Neigung haben, in den negativen oder in den poſitiven Beſtandtheil einer ſalzartigen Verbindnng einzugehen, d. h. eine Säure oder eine Baſis zu bilden, in elektronegative und in elektropoſitive Metalle. Erſtere ſind nach dieſem großen Chemiker Selen (welches von ihm den Metallen beigezählt wird), Tellur, Arſenik, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Antimon, Tantal und Titan. Die übrigen ſchweren Metalle werden als elektropoſitive angeſehen.

143. Wir ſind gewohnt, die Größe von Naturkräften, die wir an und für ſich nicht kennen, nach den Wirkungen zu meſſen, welche ſie in einer beſtimmten Zeit hervorbringen, vorausgeſetzt, daß wir uns die Ueberzeugung verſchaffen können, es ſey eine ſolche Wirkung der

Kraft proportional. Dieſes Verfahren wendet man auch auf die elektriſchen Ströme an. Leitet man den Strom einer ſtarken Volta'ſchen Batterie durch einen Waſſerzerſetzungsapparat, ſo erhält man in einer beſtimmten Zeit eine beſtimmte Menge Gas. Nöthiget man denſelben Strom hinter einander durch zwei ſolche Zerſetzungsapparate zu gehen, ſo erhält man in jedem dieſelbe Gasmenge, ſelbſt wenn die Elektroden ungleich groß ſind und ſich nicht in beiden in gleichen Abſtänden von einander befinden; es wird aber das in jedem Apparate erhaltene Gasquantum bedeutend geringer ſeyn, als wenn man den Strom nur durch einen Apparat geleitet hätte, weil derſelbe bei zwei Apparaten mehr Widerſtand findet, als bei einem einzigen. Führt man denſelben Strom durch drei oder noch mehrere Zerſetzungsapparate, ſo wird auch da in derſelben Zeit jeder gleich viel Gas enthalten, aber dieſes Quantum wird wieder kleiner ſeyn als bei Anwendung einer geringeren Anzahl ſolcher Apparate, bis endlich bei einer allzugroßen Anzahl von eingeſchalteten Zerſetzungsapparaten die Widerſtände eine Größe erlangen, bei der keine meßbare Quantität Gas mehr entwickelt werden kann. Es hat alſo jeder Strom ſeine beſtimmte elektrolyſirende Kraft und dieſe gibt ſich durch das Quantum zerſetzten Waſſers kund. Theilt ſich der Polardraht, nachdem er zu einem Zerſetzungsapparate geführt hat, in zwei oder mehrere gleich dicke und gleich lange Theile von derſelben materiellen Beſchaffenheit und man ſchaltet in jedem derſelben einen neuen Zerſetzungsapparat ein; ſo gibt jeder Theilſtrom dieſelbe Gasmenge und unter allen Umſtänden iſt das von allen Theilſtrömen zuſammen erzeugte Gasquantum genau ſo groß, wie das vom ungetheilten Strome in derſelben Zeit erzeugte. Es kann demnach die Menge des in einer beſtimmten Zeit durch Waſſerzerſetzung erhaltenen Gaſes als Maß der Stromſtärke oder der in einer beſtimmten Zeit durch einen Querſchnitt der Kette ſtrömenden Elektricitätsmenge angeſehen werden und die zum Zerſetzungsapparate gehörige Gasröhre kann, wenn ſie graduirt iſt, einen Strommeſſer abgeben. Man nennt ſie darum auch Volta-Elektrometer (Voltameter). Dieſer gibt aber natürlich nur die Stärke des Stromes nach erfolgter Einſchaltung in den elektriſchen Kreis an und man kann demnach zwei Ströme durch dieſes Meßwerkzeug nur dann den vor der Einſchaltung deſſelben vorhanden Stromſtärken proportional ſetzen, wenn dieſelben ſo viele Widerſtände zu überwältigen haben, daß dagegen die vom Volta-Elektrometer herbeigeführten verſchwinden.

Faraday wendete bei Verſuchen über die Zerſetzung des Waſſers verſchiedene Gefäße zum Auffangen der entwickelten Gaſe an, immer aber gingen die Platindrähte, welche den elektriſchen Strom ins Waſſer leiteten, in Platten aus Er fand dieſelbe elektrolytiſche Wirkung des Stromes, dieſe Platten mochten 0.7 Zoll breit und 4 Z. lang, 0.5 Z. breit und 0.8 Z. lang oder gar 0.02 Z. breit und 0.5 Z. lang ſeyn, nur mußte dafür geſorgt werden, daß ſich die Gaſe nicht wieder zu Waſſer verbanden und daß die Löſung derſelben im Waſſer möglich gering ausfiel. Als er drei Zerſetzungsinſtrumente aufſtellte, wo ſich der elektriſche Strom, nachdem er durch das erſte gegangen war, in zwei

andere zertheilen und ſich hierauf wieder vereinigen mußte, ergab ſich die Summe der Gaſe in den zwei letzten Gefäßen gleich jenem in dem erſten. Es zeigte ſich immer dasſelbe Reſultat, das Waſſer mochte durch Schwefelſäure, durch Aetzkali oder Aetznatrum, durch Bitterſalz oder Glauberſalz leitend gemacht worden ſeyn. Eben ſo wenig fand ſich ein Unterſchied in der zerſetzenden Kraft der Elektricität, der poſitive Polardraht mochte aus Platin, Kupfer oder Zink beſtehen. (Faraday in Pogg. Ann. 33. 316.) Es iſt gleichgiltig, wie die Batterie conſtruirt ſey, und aus welchem Materiale ſie beſtehe; ſobald ſie mit einer andern verglichen die Magnetnadel des gleichzeitig mit dem Waſſerzerſetzungsapparate in den Schließungskreis eingeſchalteten (ſpäter zu erklärenden) Galvanometers um gleichviel ablenkt, zerſetzt ſie eben ſo viel Waſſer als dieſe. (Vergl. Jacobi in Pogg. Ann. 48. 26.)

Bei dem Gebrauche des Voltameters iſt es nicht nöthig, beide Gaſe getrennt aufzufangen, es wäre denn zur Controlle des Reſultates. Um die Füllung der Meßröhre nach jedem Verſuche mit Bequemlichkeit verrichten zu können, ſetzt man ſie auf den Hals einer Flaſche, die mehr als noch einmal ſo viel Flüſſigkeit faßt, als in die Röhre hineingeht, an den Flaſchenhals dicht anſchließend, dergeſtalt, daß wenn man die Flaſche umkehrt, die Mündung der Röhre ſtets unter Waſſer bleibt. Durch den Boden der Flaſche führt man die in Platinplatten ſich endigenden Elektroden. Eiſenblechplatten in ſchwacher Aetzkalilöſung thun aber nach Poggendorff noch beſſere Dienſte als Platin in geſäuertem Waſſer. (Pogg. Ann. 55. 277.) Zum Entweichen der Luft und der Gaſe bei dem Umleeren iſt nahe am oberen Theile der Flaſche eine ſehr kleine Oeffnung gebohrt. Dem zu elektrolyſirenden Waſſer iſt ſo viel Schwefelſäure zuzuſetzen, daß die Flüſſigkeit die Dichte 1.34 bekommt. Dieſe Miſchung hat ſich Faraday als die am wenigſten Gas abſorbirende bewährt. Eine ſtarke Säure abſorbirt eine beträchtliche Menge Sauerſtoffgas.

144. Es iſt ſo eben geſagt worden, daß zwei in dieſelbe Kette hinter einander eingeſchaltete Waſſerzerſetzungsapparate gleiche Gasquantitäten geben. Bringt man nun in den einen Apparat ſtatt des Waſſers einen andern Elektrolyten, ſo findet man die Quantität der Jonen in beiden Apparaten nicht mehr einander gleich, wohl aber verhalten ſie ſich wie ihre chemiſchen Aequivalente. Dieſes merkwürdige, von Faraday entdeckte Geſetz heißt das Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action. Es zeigt, daß man zur Abſcheidung chemiſch äquivalenter Quantitäten verſchiedener Stoffe gleiche Elektricitätsmengen bedürfe oder daß ſich Ströme, welche von verſchiedenen Stoffen gleiche Quantitäten ausſcheiden, wie die Miſchungsgewichte dieſer Stoffe verhalten.

Um die Richtigkeit dieſes Geſetzes an einer größeren Anzahl und an verſchiedenartigen Fällen zu bekräftigen, war es nicht hinreichend, bloß wäſſerige Löſungen der Einwirkung ſtrömender Elektricität auszuſetzen, denn wenn gleich dasſelbe bei der Zerlegung der Chlor- und Jodwaſſerſtoffſäure u. dgl. ſich bewährt, ſo iſt doch in andern Fällen die dabei Statt findende Waſſerzerlegung augenſcheinlich gerade der primäre und die Zerlegung des aufgelöſten Stoffes nur der ſecundäre Proceß. Es mußte die Theilnahme des Waſſers gänzlich ausgeſchloſſen werden. Hier kam die ſchon früher gemachte intereſſante Bemerkung Faraday's zu Hilfe, daß eine bedeutende Anzahl von Stoffen, welche in feſtem Zuſtande die im Vergleiche mit der Maſchinenelektricität nur mit ſchwacher Span-

nung verſehene Elektricität der Volta'ſchen Säule nicht leiten, im geſchmolzenen Zuſtande ſich in gute Elektricitätsleiter verwandeln, und während ſie die Elektricität leiten, auch zerſetzt werden. Als Beiſpiel mag folgendes Ereigniß eines Faraday'ſchen Verſuches dienen. Bei der Zerſetzung von geſchmolzenem Zinnchlorür fand er, daß das Gewicht der negativen Elektrode durch das an dem Platindraht frei gewordene und damit verbundene Zinn um 3.2 Gran zugenommen hatte. Durch denſelben Strom wurden 3.85 engl. Kub. Zoll Gaſe aus Waſſer erhalten, welche 0.49742 Gran wogen, indem 100 Kub. Z. ſolchen Gasgemenges 12.92 Gran wiegen. Setzt man das Aequivalent des Waſſerſtoffes $= 1$, ſo wird das Aequivalent des Waſſers $= 9$ und man hätte, wenn man das Aequivalent des Zinnes x nennt, unter Vorausſetzung der Richtigkeit des obigen Geſetzes $0.49742 : 3.2 = 9 : x$, woraus $x = 57.9$ folgt, eine Zahl, die dem Miſchungsgewichte des Zinnes ſo nahe kommt, daß man die Differenz den unvermeidlichen Fehlern eines Verſuches dieſer Art beimeſſen darf.

145. Das Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action gibt einen guten Anhaltspunct ſowohl zur Beurtheilung der chemiſchen Aequivalente, als auch des Charakters der elektrochemiſchen Zerſetzung. Producte, welche bei Gelegenheit der elektriſchen Strömung an den Elektroden ſich einfinden und dieſem Geſetze nicht entſprechen, können nicht primäre Reſultate der Zerſetzung, ſondern nur ſecundäre Erzeugniſſe ſeyn.

Auf dieſe Gründe geſtützt, ſchließt Faraday die Schwefelſäure, Phosphorſäure, Borſäure, auch Salpeterſäure und Ammoniak u. m. a. von der Reihe der Elektrolyte aus; dieß hindert aber nicht, daß ſie als Jonen auftreten. Stickſtoff, Kohlenſtoff, Phosphor, Bor, Aluminium haben ſich bis jetzt noch nicht als Jonen gezeigt.

146. Was in einem Zerſetzungsapparate vorgeht, der in den Polardraht eingeſchaltet iſt, das findet auch in jeder einzelnen Zelle eines geſchloſſenen Volta'ſchen Apparates Statt; es wird dort eine dem elektriſchen Strome angemeſſene Quantität des flüſſigen Leiters zerlegt. Iſt dieſer Apparat eine Zinkkupferſäule mit verdünnter Säure geladen, ſo muß, weil die Stärke des elektriſchen Stromes im Schließungskreiſe nothwendig überall dieſelbe iſt, die Orydation des Zinkes, alſo der Zinkverbrauch in jeder Zelle, genau der Quantität des zerſetzten Waſſers in dem in die Kette eingeſchalteten Voltameter entſprechen. Fände es ſich, daß mehr als 1 Aequivalent Zink in jeder Zelle für jedes Aequiv. zerſetzten Waſſers conſumirt würde, ſo wäre dieß als ein Zeichen einer localen, von dem elektriſchen Strome der Säule independenten chemiſchen Action anzuſehen, die, wenn ſie auch auf elektriſche (jedoch locale) Strömung ſich gründet, zum Effecte der Säule nichts beiträgt.

Derlei locale Wirkungen kommen bei elektriſchen Ketten immer vor, und es handelt ſich darum, ſie auf ein Minimum herabzuſetzen. Je niedriger dieſes ausfällt, deſto vollkommener iſt die Conſtruction der Kette. Da die Quantität des durch den in der ganzen Kette circulirenden Strom in einer Zelle zerlegten Waſſers, mithin jene des daſelbſt gebildeten Zinkorydes der Stärke des Stromes proportionirt iſt, ſo kann ein gegebener Effect der Säule ohne eine entſprechende Zink-

conſumtion nicht beſtehen; jede weitere Zinkconſumtion aber iſt localen Wirkungen zuzuſchreiben. Eine ſolche iſt die Auflöſung des Zinkes in der Flüſſigkeit bei nicht geſchloſſener Kette; daher der Nutzen des Amalgamirens der Zinkplatten. Um ein Beiſpiel einer Vergleichung des zur Erzielung des Effectes einer Säule nöthigen Zinkaufwandes mit dem wirklichen Zinkverbrauche zu geben, wählen wir jenes auf eine im größeren Maßſtabe conſtruirte Batterie ſich beziehende, welches Jacobi anführt (Pogg. Ann. 48. 56). Der galvaniſche Apparat beſtand aus 3 Batterien, jede zu 50 Paaren, nach Daniell's Princip eingerichtet, mit wohl amalgamirten Zinkplatten von 6″ Seite; die Ladung auf der Kupferplatte aus Kupfervitriol, auf der Zinkſeite aus einer etwas verdünnten Löſung von ſchwefelſaurem Kali. Der Waſſerzerſetzungsapparat enthielt 12 Paar Platinplatten, jede von 15 Qu. Zoll Fläche in geſonderten Zellen. Die Zink- und Kupferpole der drei Batterieen wurden ſo verbunden, daß das Ganze einer Batterie von dreifacher Plattenfläche entſprach. Nach 7 Stunden waren 3.42 engl. Kub. F. Knallgas erzeugt worden und die Zinkplatten hatten 189.5 Solotnik an Gewicht verloren (1 Pf. ruſſ. = 0.7303 Wien. Pf. enthält 96 Solotnik); das Gewicht jenes Gaſes iſt 12.19 Solotnik, mithin wurde auch ein gleiches Quantum Waſſer zerſetzt. Da den 12 Waſſerzerſetzungszellen 50 Batterie-Zellen entſprechen, ſo waren zu 12 Aequ. Waſſer 50 Aequ. Zink erforderlich; dieß gibt, wenn 1 Aequ. Waſſer = 9 und 1 Aequ. Zink = 32.5 geſetzt wird, nach der Proportion 12.9 : 50.32.5 = 12.19 : x die nöthige Zinkconſumtion x = 183.4, was einen Verluſt von 6.1 Sol., mithin 3.2 Procent der Totalconſumtion an Zink ausweiſet.

147. Die Erſcheinungen, welche die Zerlegung zuſammengeſetzter Stoffe durch Vermittelung eines Volta'ſchen Stromes begleiten, geben nützliche Winke zur zweckmäßigſten Conſtruction eines Volta'ſchen Apparates und laſſen die Gründe der Vortheile erkennen, welche die neueren Einrichtungen deſſelben nach Daniell, Grove u. A. gewähren.

Ladet man eine Zinkkupferbatterie mit Kupfervitriollöſung, ſo wird bei kräftiger Wirkung in dem Troge oder in den Zellen kein Gas entwickelt, was dieſe Flüſſigkeit ſehr empfiehlt; das Hydrogen des zerlegten Waſſers dient zur Reduction des Kupfers und der Sauerſtoff zur Oxydation des Zinkes. Das Gas, welches ſich z. B. bei dem Gebrauche der verdünnten Schwefelſäure als leitender Flüſſigkeit entbindet, iſt nicht nur läſtig, ſondern die Gasblaſen, welche an dem Kupfer hartnäckig adhäriren, thun auch der Kräftigkeit des Stromes Eintrag. Doch kommt bei Anwendung des Kupfervitriols Zinkoxyd mit der Kupferfläche in Contact, adhärirt derſelben, wird durch das entſtehende Waſſerſtoffgas theilweiſe reducirt, es bilden ſich locale Ketten, was dem Effecte ſchadet und die Kraft der Batterie bald namhaft ſchwächt. Durch Einſchaltung einer poröſen Scheidewand zwiſchen Kupfer und Zink in jeder Zelle wird dieſem Uebelſtande vorgebeugt, es kann kein Zinkoxyd an die Kupferplatte, und es ſetzt ſich das reducirte Kupfer rein an ſelbe ab, deren Dicke dadurch zunimmt. Dieſer Umſtand kann benützt werden, die Kupferplatten durch die Wirkung der Batterie ſelbſt erſt zu erzeugen, indem man denſelben für den Anfang dünne Platten aus einem andern wohlfeilen Metalle, Eiſen oder Blei, ſubſtituirt.

148. Die chemiſche Veränderung, welche die zu einer Volta'ſchen Batterie oder auch nur zu einem einzelnen Elemente verwendeten

Metalle an der Oberfläche durch den elektriſchen Strom erleiden, ſcheinen auch die Urſache zu ſeyn, daß ſich die Wirkſamkeit einer ſolchen Batterie mit der Zeit ſo ſehr ändert und ſeine Richtung und Stärke wechſelt. Ueberhaupt ſucht der elektriſche Strom den Körper, in welchen er von der Flüſſigkeit eintritt, poſitiv elektriſch zu machen und da dieſer Körper bei den gewöhnlichen Batterien gerade der urſprünglich elektronegative iſt, ſo wirkt er darum zuerſt ſchwächend auf den Apparat ein und kann endlich ſeine Pole gar umkehren. Dieſes zeigt folgender Verſuch: Man nehme zwei ganz homogene Silberplatten, tauche jede derſelben in ein Glas mit Waſſer, verbinde ſie mit einander außerhalb der Gläſer leitend und bringe in eines der Gläſer, dem Silber zur Seite, einen Zinkſtreifen, in das andere einen Kupferſtreifen und verbinde dieſe letzteren ſelbſt mit einander zu einem Zinkkupferelemente. Nimmt man nach einigen Minuten die Silberplatten aus der Flüſſigkeit, verbindet ſie mit einander zu einer einfachen Kette, ſo erſcheint die Platte, welche ſich neben dem Kupfer befand und in welche die Elektricität vom Waſſer einſtrömte, poſitiv, die andere negativ. Dieſe Aenderung erleidet ein Körper um ſo leichter, je öfter man ihn einem elektriſchen Strome bereits ausgeſetzt hat; ſie erſtreckt ſich aber nur auf den in die Flüſſigkeit getauchten Theil deſſelben und geht bis zur Umkehrung der elektriſchen Pole. Dieſes fand Marianini bei einem Elemente aus Graphit und Platin in einem Gemiſche von 100 Th. Waſſer und 1 Th. Schwefelſäure. Da erſchien zuerſt das Platin negativ, der Graphit poſitiv; nach öfterem Eintauchen verſchwand der Strom ganz und trat endlich in entgegengeſetzter Richtung auf. Die Zeit, innerhalb welcher dieſe Veränderung vor ſich geht, hängt vom flüſſigen Leiter ab und iſt deſto kürzer, je beſſer dieſer leitet. Waſſer bewirkt nie eine vollkommene Umkehrung des Stromes. Platten, die nicht oxydirbar ſind, wie z. B. von Gold und Platin, kehren, wenn ſie einige Zeit der Luft ausgeſetzt ſind, wieder in ihre urſprüngliche elektriſche Reihe zurück. Aus dieſem Verhalten folgt, daß die Kraft eines Elektromotors bloß durch die Wirkung des einige Zeit lang Statt findenden elektriſchen Stromes eine Aenderung erleide. Marianini hat dieſes durch eigene Verſuche mit Volta'ſchen Säulen näher erörtert und ſich überzeugt, daß der Verluſt, den ein ſolcher Apparat erleidet, gleich nach dem Schließen der Kette am ſchnellſten erfolge, in der Folge immer langſamer vor ſich gehe und endlich eine beſtimmte, unüberſchreitbare Grenze erreiche. Dieſe Abnahme erfolgt (nach Fechner) deſto ſchneller, je kürzer der die Kette ſchließende feſte oder flüſſige Leiter, je größer die Zahl der Plattenpaare und je kleiner die erregende Oberfläche jedes Paares iſt, ſchneller, wenn die Fläche des poſitiven Körpers die des negativen übertrifft als umgekehrt. Uebrigens hängt ſie auch von der Natur der Platten und der flüſſigen Leiter ab und befolgt ſelbſt bei ganz gleich conſtruirten Ketten, deren anfängliche Stärke dieſelbe iſt, einen verſchiedenen Gang. Eine einfache Kette mit großen, weit von einander abſtehenden Platten aus Zink und Zinn, mit ſtark ſaurem Waſſer oder noch beſſer mit Kupfervitriollöſung, durch einen langen

Polardraht geſchloſſen, wird ihre Kraft nur ſehr langſam verlieren (Marianini in Zeitſchr. 3. 365; 9. 241. Fechner in Schweigg. J. 63. 249). Säulen mit amalgamirten Zinkplatten ſind darum auch wirkſamer und dauernder, weil die Zinkfläche immer rein bleibt, indem das gebildete Oxyd ſchnell durch die freie Säure entfernt wird.

149. Wird eine Metallſalzlöſung durch den elektriſchen Strom zerſetzt, ſo ſcheidet ſich das Metall an der negativen Elektrode entweder in reguliniſcher Form oder als Oxyd ab. In erſterem Falle kann es als Pulver oder als adhärente Maſſe, oder endlich in Kryſtallen erſcheinen, je nachdem der Strom mehr oder weniger kräftig und die Salzlöſung mehr oder weniger concentrirt iſt. Ein Strom, der an der negativen Elektrode zugleich eine merkliche Entwicklung von Waſſerſtoffgas bewirkt, erzeugt immer nur einen pulverigen Metallabſatz; ein ſehr ſchwacher Strom erzeugt eine cohärente Maſſe, oder wenn ſich an den Ablagerungsorten mehrere Mittelpuncte der Ablagerung bilden können, Kryſtalle. Hierauf beruht die ſogenannte Galvanoplaſtik, die Art und Weiſe Metallüberzüge auf galvaniſchem Wege zu erzeugen und die Bildung künſtlicher Kryſtalle von Stoffen, die man ſonſt nicht ſo leicht in dieſer Form erhalten kann.

Bildet ſich der Kupferüberzug in einem geſchloſſenen Daniell'ſchen Elemente oder in der in eine galvaniſche Kette eingeſchalteten Kupfervitriollöſung enthaltenden Zerſetzungszelle nicht zu raſch, ſo fügen ſich die frei werdenden Kupfermolekel zu einer compacten Maſſe von gleichförmiger Dicke an einander, die ſich von der Kathode unverſehrt wegnehmen läßt und in der jede Erhöhung oder Vertiefung, die auf der Kathode ſich befindet, bis auf die feinſten Lineamente abgedrückt erſcheint. Dieß hat Jacobi zuerſt wahrgenommen und darauf ein Verfahren gegründet, Gebilde von Kupfer nach jedem gegebenen Modell durch Fällung dieſes Metalles aus Kupfervitriollöſung auf galvaniſchem Wege darzuſtellen, welches Verfahren er Galvanoplaſtik nennt. Münzen, Medaillen, gravirte Metallplatten u. dgl. laſſen ſich dadurch auf das Vollkommenſte in Kupfer, und zwar nach Belieben erhöht oder vertieft wieder geben. Es iſt nicht nöthig, das Original unmittelbar dem galvaniſchen Strome auszuſetzen, ja dieſes braucht nicht einmal von Metall zu ſeyn; ein Abdruck in leichtflüſſigem Metalle (nach Böttger am beſten aus 8 Th. Wismuth, 8 Th. Blei und 3 Th. Zinn beſtehend), ja ſogar in Gips oder in Stearin, deren Oberfläche man durch Auftragen feinen Graphits, durch Phosphorſilber, eine Verbindung von Eiſen mit Zink oder auf andere Art leitend gemacht hat, genügt. Einzelne kleinere Stücke behandelt man am bequemſten in einem Apparate von der Form Fig. 236, wo das äußere Gefäß geſättigte Kupfervitriollöſung, das innere, aus einem unten mit thieriſcher Blaſe geſchloſſenen Glascylinder beſtehend, aber Waſſer mit Zuſatz von etwas Schwefelſäure oder Kochſalz enthält. Auf den aus Kupferdraht gebildeten Träger ABC wird oben bei A eine (amalgamirte) Zinkplatte, unten aber die in Kupfer darzuſtellende Form gelegt. Man überläßt das Ganze mehrere Tage ſich ſelbſt, von Zeit zu Zeit (allenfalls nach 24 Stunden) die Säure erneuernd, und die Kupfervitriollöſung auf den gehörigen Grad von Concentration zurückführend. Zu größeren oder mehreren Gegenſtänden bedient man ſich einer aus einigen Elementen beſtehenden Batterie und einer eigenen Zerſetzungszelle mit concentrirter Kupfervitriollöſung gefüllt, in welcher man die Mo-

del für den Kupferniederſchlag mit der Kathode der Batterie in Verbindung ſetzt. Iſt die Anode von Kupfer, ſo wird dieſe durch die frei gewordene Schwefelſäure in dem Maße aufgelöſet, als ſich Kupfer an die Kathode anſetzt, ſo daß dieſes gleichſam von der Anode zur Kathode wandert. Es iſt unerlaßlich, die Stärke des Stromes nicht über eine gewiſſe Grenze gehen zu laſſen, wie auch allzu großer Schwächung deſſelben vorzubeugen, welches, wie die Folge zeigen wird, durch Einſchaltung einer Bouſſole in den Kreis möglich wird. Damit nicht Theilchen, die ſich von der zu Grunde gehenden Anode ablöſen, die Kathode verunreinigen, umgibt man die Anode mit Leinwand. Das Product wird von dem Model durch Anfeilen leicht getrennt. Deckt man eine glatte Kupferplatte mit einem Baumwollengewebe und behandelt ſie dann, wie vorher bezüglich einer gravirten Platte geſagt worden iſt, ſo ſchlägt ſich das Kupfer in den Zwiſchenräumen des Gewebes nieder und man erhält auf ſolche Weiſe die ſchönſten Zeichnungen aus dem dünnſten Kupfer, ohne daß dieſe dem Zeuge die Biegſamkeit benehmen. Man kann den Kupferniederſchlag nach der Hand vergolden und auf ſolche Weiſe eine höchſt merkwürdige Verbindung von Zeug und dauerhaft glänzendem Metalle erhalten. (Die Galvanoplaſtik. Von M. H. Jacobi. St. Petersburg, 1814. Die Anwendung des hydroelektriſchen Stromes als Aetzmittel von Oſann. Würzburg, 1842.)

Auf ähnlichen Grundſätzen beruht die Vergoldung des Silbers, Meſſings, Stahles, das Ueberziehen der Metalle mit Platin, das Verzinnen, Verzinken u. ſ. w. auf galvaniſchem Wege. Man bringt in die Zerſetzungszelle eine gehörig zuſammengeſetzte Goldlöſung, und taucht den mit der Kathode verbundenen, zu vergoldenden Gegenſtand, nachdem man ſeine Oberfläche gehörig gereiniget hat, in dieſelbe. Schon nach wenigen Minuten hat ſich ein Goldüberzug gebildet, der feſt adhärirt und durch Reiben mit Leder leicht polirt werden kann. Beſagte Goldlöſung kann aus Chlorgold in wäſſerigem Cyankalium oder weißem Cyaneiſenkalium, wohl auch aus Schwefelgold in wäſſerigem Schwefelkalium gelöſet beſtehen. Nimmt man ſtatt Chlorgold Chlorplatin, Chlorſilber ꝛc., ſo kann man eben ſo platiniren, verſilbern ꝛc. (Böttger's Beiträge zur Phyſik und Chemie. 2. 86, 100; Pogg. Ann. 55. 161). Es iſt bis jetzt noch nicht gelungen, derlei Ueberzüge von der Form zu trennen, welche Eigenſchaft daher dem Kupfer ausſchließend zuzukommen ſcheint. Es muß noch bemerkt werden, daß ſich Kupfergebilde auch durch ſucceſſives Anlegen des Kupfers von außen mit glatter Oberfläche darſtellen laſſen.

Läßt man einen ſehr ſchwachen elektriſchen Strom durch dünne Drähte in die zu zerſetzende Flüſſigkeit gehen, ſo können ſich die ſehr langſam frei werdenden kleinſten Theile ganz regelmäßig, eines nach dem andern anordnen, ſo daß man auf dieſem Wege manchen Körper kryſtalliſirt erhält, der bei keinem andern Mittel in Kryſtallform erſcheint. (Becquerel in Zeitſchr. 6. 351; 8. 93.)

150. Auch Metalloxyde, welche aus Salzlöſungen durch den elektriſchen Strom ausgeſchieden werden, legen ſich oft an andere Metallflächen feſt an. Dieſes geſtattet mehrfache Anwendungen. Unterliegt eine ſolche Oxydſchichte nicht dem Einfluſſe der Luft und des Waſſers, ſo kann ſie, auf einem leicht oxydirbaren Metalle angebracht, dasſelbe ſchützen und zur Würde eines minder oxydablen erheben. Oxydſchichten haben oft nach Maßgabe ihrer verſchiedenen Dicke verſchiedene Farben und in ſofern können ſie auch dazu dienen, Metallflächen zu verzieren.

Bleiprotoxyd iſt in der Luft und im Waſſer unveränderlich. Gelingt es, Eiſen damit zu überziehen ſo hat man es zugleich gegen Oxydation geſchützt. Um dieſes zu bewirken, löſet man 100 Theile kauſtiſches Kali in 2000 Th. Waſſer auf und ſetzt der Auflöſung 150 Th. Bleiglätte zu, kocht das Gemenge eine halbe Stunde und läßt es ſich ſetzen. Dieſe Flüſſigkeit dient nun als Bad für das Eiſen, welches man mit Bleiprotoxyd überziehen will. Man gießt ſie in ein Gefäß, worin auch das zu ſchützende Eiſen Platz hat und ſtellt darein noch ein zweites kleineres poröſes mit ſehr verdünnter Salpeterſäure. Wird nun das Eiſen in die betreffende Flüſſigkeit gegeben, nachdem man es gehörig gereiniget hat, und zugleich mit dem poſitiven Pole des Elektromotors in Verbindung gebracht, während der negative in die ſaure Flüſſigkeit taucht; ſo entſteht alſogleich in Folge der Waſſerzerſetzung eine ſtarke Entwicklung von Waſſerſtoffgas, während der Sauerſtoff des Waſſers das frei gewordene Bleipertoxyd in Protoxyd verwandelt, das nun dem Eiſen ſo ſtark adhärirt, daß es ſelbſt kräftigen mechaniſchen Mitteln widerſteht. Nach Maßgabe der Dicke der Oxydſchichte ſieht die Oberfläche des Eiſens ochergelb, braun oder gar glänzend ſchwarz aus.

Läßt man eine Elektrode in eine polirte Metallſcheibe ausgehen, während die andere in eine Spitze ausläuft und der Ebene dieſer Scheibe ſenkrecht gegenüber ſteht; ſo legt ſich meiſtens das Product der Zerſetzung, welches an dem der Scheibe entſprechenden Pole erſcheint, in Form concentriſcher Kreiſe an, deren Mittelpunct der Spitze der andern Elektrode gerade gegenüber ſteht. Nobili hat dieſe ringförmigen Ablagerungen mit beſonderem Fleiße unterſucht. Man bringt ſie mit ſehr ſchwachen elektriſchen Strömen in kurzer Zeit hervor. Eſſigſaures Kupfer mit Salpeter gemiſcht, gewährt an einer mit dem negativen Pole verbundenen, polirten Silberplatte eine ſchöne Erſcheinung dieſer Art. (Nobili in Zeitſchr. 2. 435; 3. 65. Pogg. Ann. 33. 537. Schweigg. J. 54. 40) Nach Fechner reicht es zur Erzeugung ſolcher Figuren hin, die in einer eſſigſauren Kupferoxydlöſung befindliche Silberplatte einige Minuten lang mit einem Zinkſtäbchen zu berühren. (Schweigg. J. 55. 442.)

151. Ein elektriſcher Strom kann nicht nur chemiſche Wirkungen hervorbringen, ſondern auch ſolche, die nach den gewöhnlichen Affinitätsgeſetzen, aber in einem der Tendenz des Stromes entgegengeſetzten Sinne eintreten ſollen, hindern. Legt man ein Stück Eiſen in eine Schale von Glas oder Porcellan und übergießt es mit verdünnter Salpeterſäure, ſo löſet ſich dieſes Metall in der Säure auf. Berührt man es aber mit einem Stückchen Zink, ſo wird das Eiſen nicht mehr angegriffen, dafür aber das Zink, und erſt, wenn letzteres ganz aufgezehrt iſt, kommt die Reihe wieder an erſteres. Dasſelbe erfolgt mit Kupfer, Zinn, Blei oder Silber, oder wenn man Schwefelſäure oder Salzſäure der Salpeterſäure ſubſtituirt. Selbſt Gold und Platin werden durch Zink gegen die Einwirkung des Königswaſſers geſchützt.

Man kann ſich den Hergang bei dieſen Erſcheinungen ſo vorſtellen: Wenn Eiſen in Salpeterſäure getaucht wird, ſo entſteht ein elektriſcher Strom zwiſchen der Flüſſigkeit und dem Metalle, und dieſer bedingt die Zerſetzung eines Theiles der Säure und die Oxydation des Metalles auf Koſten des von ihr frei gewordenen oder bereits in ihren Poren enthaltenen Sauerſtoffes. Daß ſich das Oxyd in der übrigen Säure auflöſet, bedarf keines weiteren Beweiſes, und wird durch die gewöhnlichen

Affinitätsgeſetze vermittelt. Berührt man aber das Eiſen mit Zink, ſo tritt ein anderer, entgegengeſetzter Strom auf, der ſtärker iſt als der erſtere, und durch deſſen Einfluß das Zink, nicht das Kupfer oxydirt wird, eben weil er in ſeiner Richtung dem vorigen entgegengeſetzt iſt. Dieſes Oxyd iſt es, welches nun in der Säure aufgelöſet wird. Demnach hängt das Angegriffenwerden des einen oder anderen Metalles nur davon ab, welches von beiden durch den Einfluß des elektriſchen Stromes oxydirt wird; auf den weiteren Verlauf hat die Elektricität keinen Einfluß mehr. Daß Eiſen durch bloße Berührung mit Zink in feuchter Luft nicht vor Oxydation geſchützt werden könne, iſt daraus erklärbar, daß der elektriſche Strom, zu welchem durch Berührung der zwei Metalle die Tendenz vorhanden iſt, wegen zu geringer Leitungsfähigkeit der feuchten Luft nicht zur Wirklichkeit kommen kann. Auf dieſen Grundſätzen beruht die Schützung des Kupferbeſchlages von Schiffen durch Zink, Eiſen ꝛc. gegen Einwirkung des Meerwaſſers nach Davy, auch Sorel's galvaniſirtes Eiſen.

152. Nimmt man an, daß die Tendenz zu einem elektriſchen Strome und unter günſtigen Umſtänden der Strom ſelbſt in einem Metalle die dieſe Tendenz erzeugende Urſache überdauert; ſo erklären ſich, wenigſtens nach dem gegenwärtigen Standpuncte der Wiſſenſchaft, alle jene Erſcheinungen, die Schönbein neueſtens wieder hervorgehoben und mit neuen, ſehr intereſſanten vermehrt hat, und die ſich darauf beziehen, ein Metall gegen eine Säure, die es im natürlichen Zuſtande ſtark ergreift, ganz indifferent zu machen.

Setzt man einen Eiſendraht einige Augenblicke mit dem poſitiven Pole einer Volta'ſchen Säule in Berührung, ſo wird er hierauf von Salpeterſäure, die ſo verdünnt iſt, daß ihr ſpec. Gew. 1.35 nicht überſchreitet, nicht angegriffen; er gibt mit Platin oder Silber kein wirkſames Volta'ſches Element mehr, oxydirt ſich, als Polardraht einer elektriſchen Säule gebraucht, am Pole nicht, zerſetzt den Kupfervitriol nicht mehr, kurz er verhält ſich, wie Schönbein ſagt, ganz paſſiv. Dieſe Paſſivität erlangt er auch auf andere Weiſe, z. B. durch Glühen und Anlaufen in der Luft, und zwar nicht bloß an der geglühten oder angelaufenen Stelle; nur muß man das geglühte Stück zuerſt in die Flüſſigkeit tauchen, gegen die er paſſiv ſeyn ſoll; er theilt dieſe ſeine Eigenſchaft einem anderen Eiſendraht mit, der um das nicht geglühte Ende feſtgewunden oder mittelſt eines Platindrahtes damit verbunden iſt. Dieſer paſſive Zuſtand hört mit der Zeit von ſelbſt auf und zwar iſt ſelber nach Verſchiedenheit der Mittel, durch die er erzeugt wurde, auch verſchieden. Erhitzt man die Salpeterſäure, gegen welche ein Eiſendraht paſſiv iſt, bis gegen 88°, oder erſchüttert man das aus der Säure hervorragende Ende heftig, oder bringt man zwei paſſive, in derſelben Säure befindliche Drähte an der oberſten Fläche mit einander in Berührung ꝛc., ſo wird die Paſſivität augenblicklich aufgehoben. (Pogg. Ann. 37. 590; 38. 444, 492; 39. 122; 43. 1, 13, 59 149. 421. Das Verhalten des Eiſens zum Sauerſtoffe von Schönbein. Baſel 1837.)

Das Hinausreichen der Wirkung der Elektricität auf einen Körper über die Dauer ihrer Exiſtenz beweiſen beſtimmte Erfahrungen. Die Polardrähte, welche eine Zeit lang zur Zerſetzung eines Körpers, z. B. des Waſſers, durch den elektriſchen Strom gedient haben, erlangen dadurch die Kraft, dieſe Zerlegung ſelbſt dann noch anhaltend und zwar oft mehrere Tage fortzuſetzen, nachdem ſie von der Säule getrennt worden ſind; ja man kann ſie aus der Flüſſigkeit herausnehmen und

reinigen, ohne ihnen dadurch ihre Kraft zu nehmen. Nach Pfaff ſind nicht alle Metalle hiezu in gleichem Grade geeignet, und zwar Eiſen- und Zinkdrähte im höchſten Grade, in einem geringeren Silber-, Platin- und Golddrähte; an Meſſing- und Bleidrähten bemerkt man hiervon nichts. Aber wenn auch ſolche Drähte kein Waſſer mehr zerſetzen, ſo iſt doch die Tendenz, dieſes zu thun, noch nicht verſchwunden, denn ſie geben oft auf andern Wegen noch Zeichen eines vorhandenen elektriſchen Stromes.

153. Die Wirkung zwiſchen den Polardrähten und den Beſtandtheilen der Körper und die durch Elektricität begünſtigte Verbindung der in der Kette befindlichen Körper veranlaßt beſondere oft ſehr intereſſante Bewegungen, die ſchon vor mehreren Jahren von Erman entdeckt, aber erſt in der neueren Zeit von Herſchel, Pfaff, Runge u. A. genauer beachtet wurden. Bedeckt man Queckſilber mit einer dünnen Schichte einer leitenden Flüſſigkeit, z. B. Schwefelſäure, und ſetzt die zwei Pole mittelſt Platindraht mit dieſer in leitende Verbindung, ohne durch ſie das Queckſilber zu berühren; ſo entſtehen Strömungen, die nach Umſtänden bald von einem, bald von beiden Polen ausgehen, bald eine gerade, bald eine krumme Bahn einſchlagen und ſich überhaupt nach der Natur des flüſſigen Leiters, nach der Reinheit und Menge des Queckſilbers und nach der Stärke der Adhäſion deſſelben an das Gefäß, worin es ſich befindet ꝛc., richten. Starke Säuren geben auch ſtarke Strömungen, ſo daß man ſie ſchon mit einer einfachen Kette hervorbringen kann.

In einer ſauren Flüſſigkeit wird das Queckſilber vom poſitiven Pole weggetrieben, in einer alkaliſchen gleichſam angezogen. Berührt bei Anwendung eines Alkali der negative Polardraht das Queckſilber, ſo plattet es ſich ab, es beginnt eine Strömung vom poſitiven Pole aus und dauert noch einige Zeit fort, nachdem der Draht zurückgezogen worden; berührt aber der poſitive das Queckſilber, ſo erfolgt eine ſchwache Contraction, das Queckſilber oxydirt ſich und wird zähe. Uebergießt man Queckſilber ½ L. hoch mit einer geſättigten Kochſalzlöſung und legt einen kleinen Kupfervitriolkryſtall vorſichtig darauf, ſo wird das Queckſilber allmälig matt und überzieht ſich mit einer Haut. Berührt man es durch die Salzlauge mit einem Stücke reinen Eiſen, ſo zerreißt die Haut und verliert ſich, es beginnen Strömungen, der Kryſtall vermindert ſich zuſehends und verſchwindet endlich ganz. Eben ſo geräth ein kleiner Queckſilbertropfen in einer geſättigten Auflöſung von ſalpeterſaurem Queckſilberoxydul in eine heftige rotirende Bewegung, wenn man ihn mit einem reinen Zinkſtäbchen berührt und dieſe Bewegung hört nicht eher auf, als bis die Bildung des Zinkamalgams vollendet iſt. (Schweigg. J. 48. 190. Pogg. Ann. 8. 106; 17. 472.)

Ueber Elektrochemie ſiehe: Élémens d'electrochimie par *M. Becquerel.* Paris 1843; oder auch Traité de physique par *M. Becquerel.* Paris 1844. II. 316.

Neuntes Kapitel.

Magnetiſche Wirkungen des elektriſchen Stromes (Elektromagnetismus).

154. Im Jahre 1820 hat Oerſted eine neue Beziehung zwiſchen dem Polardrahte einer thätigen Volta'ſchen Batterie und einem beweglichen Magnete kennen gelehrt und dadurch den Grund gelegt zu einem ganz neuen Theile der Elektricitätslehre, welcher den Namen Elektromagnetismus führt. Die Oerſted'ſche Entdeckung iſt ein ſpecieller Fall eines erſt ſpäter auf dem von dieſem Gelehrten betretenen Wege gefundenen allgemeinen Geſetzes, und dieſer Umſtand iſt es, weßhalb ich hier mit der Darſtellung der allgemeinſten Erſcheinungen den Anfang machen will und abſichtlich die hiſtoriſche Ordnung der Erſcheinungen verlaſſe.

Wird ein Magnetſtab bei verticaler Stellung ſeiner Axe ſo aufgehängt, daß er ſich frei in dieſer Stellung bewegen kann, und man bringt einen ebenfalls verticalen Polardraht in deſſen Nähe, der ſo eingerichtet iſt, daß derſelbe nur der einen Polhälfte des Magnetſtabes gegenüber ſteht, während ſich deſſen andere Hälfte außerhalb des Bereiches des Polardrahtes befindet; ſo beginnt der Magnet im Augenblicke, als man den elektriſchen Strom durch den Draht gehen läßt, um denſelben in gleichförmiger Bewegung und ohne aus der verticalen Lage zu kommen, zu rotiren. Die Richtung, in welcher die Drehung vor ſich geht, hängt von der Beſchaffenheit des Poles, der dem Einfluſſe des elektriſchen Stromes ausgeſetzt iſt, und von der Richtung des Stromes ab. Denkt man ſich den Beobachter im Polardrahte befindlich, mit dem Geſichte gegen den Polardraht gerichtet und zwar in einer ſolchen Stellung, daß der elektriſche Strom von den Füßen deſſelben zum Kopfe geht; ſo erfolgt die Drehung eines Nordpoles immer von der Rechten zur Linken, die eines Südpoles von der Linken zur Rechten. Die Geſchwindigkeit, mit welcher die Rotation erfolgt, hängt ab von der Stärke des Stromes und des Magnetpoles und von der Entfernung beider von einander. Je ſtärker beide beſagte Größen ſind und in je geringerer Entfernung ſie auf einander wirken, deſto ſchneller geht die Rotation vor ſich.

So wie ein Polardraht auf einen beweglichen Magnetpol, eben ſo wirkt auch ein fixer Magnetpol auf einen beweglichen Polardraht. Es rotirt nämlich erſterer um letzteren in einer Richtung, die ſich nach der vorher erwähnten Regel vorherſehen läßt.

155. Um dieſe Rotationen durch Verſuche zu zeigen, bediene man ſich der in Fig. 237 verzeichneten kleinen Vorrichtung. Das Gefäß A iſt mit Queckſilber gefüllt, das mit dem ſeitwärts auslaufenden Drahte E communicirt, und in dieſes reicht ein verticaler Draht BC; endlich ſchwimmt im Queckſilber ein Magnetſtäbchen D, das darin durch eine angehängte Platinmaſſe ſchwimmend erhalten wird. Leitet man durch BC einen elektriſchen Strom, der in C ein- in E austritt oder

umgekehrt; ſo beginnt der Magnet alſogleich zu rotiren und man kann ſich durch Abänderung der Richtung und Stärke des Stromes, ſo wie durch Verwechslung eines Magnetpoles mit dem andern von der Richtigkeit der vorher erwähnten Drehungsgeſetze überzeugen.

Um das Rotiren eines beweglichen Polardrahtes um einen fixen Magnetpol in der Erfahrung darzuſtellen, läßt man in ein mit Queckſilber gefülltes Gefäß A (Fig. 238) einen leicht beweglichen Draht BC vertical herabhängen, und bringt in der Mitte des Gefäßes einen verticalen Magnetſtab an, oder läßt durch dasſelbe einen Stab DE von weichem Eiſen gehen, dem man mittelſt eines an ſeinem aus dem Gefäße hervorſtehenden untern Theile E angelegten Magnetes Magnetismus ertheilt. In letzterem Falle hat man den Vortheil, die Pole leicht wechſeln zu können. Der untere Theil jenes Drahtes reicht bloß mit der Spitze an das Queckſilber und wird durch ein kleines Glaskügelchen gehindert, den Magnet zu berühren. Sobald man einen elektriſchen Strom durch den Draht in das Queckſilber gehen läßt, fängt das Umkreiſen des Polardrahtes an und dauert fort, ſo lange der Strom anhält. Hat der Eiſenſtab Nordmagnetismus und geht der Strom im Drahte aufwärts, ſo circulirt letzterer, vom Magnete aus betrachtet, von der Rechten gegen die Linke. So wie der magnetiſche Pol geändert wird oder die mit den Polen der Säule verbundenen Drähte verwechſelt werden, ändert ſich auch die Richtung der kreiſenden Bewegung. Dieſe Verſuche hat Faraday zuerſt angeſtellt.

Der Apparat, durch den man ein Rotiren des Polardrahtes um einen Magnet und umgekehrt erzeugt, läßt ſich auf mannigfaltige Weiſe abändern. Man kann den Polardraht wie eine Magnetnadel auf eine verticale Spitze, die auf einer Magnetſtange angebracht iſt, ſtellen, und eines oder beide ſeiner Enden in ein Queckſilbergefäß abwärts biegen; man kann ſogar um jeden Pol eines hufeiſenförmigen Magnetes einen ſolchen Polardraht anbringen und zugleich eine Bewegung um beide Pole erzeugen. Barlow hat an einem gabelförmig ausgeſchnittenen Polardrahte U (Fig. 239) ein ſternförmiges Rädchen angebracht, deſſen Spitzen ins Queckſilber reichten und deſſen Ebene ſich zwiſchen den Schenkeln eines hufeiſenförmigen Magnetes befand. Dieſes Rädchen wird durch den elektriſchen Strom mit ungemeiner Geſchwindigkeit umgedreht. Legt man den Magnet um, ſo daß der Nordpol dorthin kommt, wo früher der Südpol ſich befand, oder ändert man die Richtung des Stromes, ſo nimmt das Rädchen die entgegengeſetzte Bewegung an. Thut man beides zugleich, ſo bleibt die Richtung der Drehung ungeändert. Die Art der Drehung des Rädchens läßt ſich hier nach derſelben Regel beſtimmen, wie in den obigen Fällen. Geht der Strom in den Radſpeichen aufwärts, ſo weicht der untere Theil des Rädchens, vom Nordpole des Magnetes angeſehen, links aus. Geht der Strom abwärts, ſo erſcheint die Bewegung von demſelben Standpuncte entgegengeſetzt. Davy hat ſelbſt an flüſſigen Leitern, z. B. am Queckſilber, an geſchmolzenem Zinn, deutliche Rotationen erzeugt. Er bediente ſich dazu eines Gefäßes, durch deſſen Boden zwei verticale Drähte gingen, die ringsum bis auf ihre oberſte Fläche mit Siegellack überzogen waren. Wurde Queckſilber in das Gefäß gegeben, bis es die Drahte deckte, und durch ſie eine mächtige Volta'ſche Säule entladen; ſo erhob ſich das Queckſilber über den

Drähten in kegelförmiger Geſtalt und ſchlug Wellen. Wurde der Pol eines Magnetes über einem jener Drähte angebracht, ſo ſenkte ſich der Kegel, verſchwand bei größerer Annäherung des Magnetes ganz und ging endlich gar in eine Vertiefung über, aber das Queckſilber fing um denſelben Pol zu rotiren an (Schweigg. J. 40. 332). Nach Fechner kann man eine Flüſſigkeit durch folgende Vorrichtung in eine elektromagnetiſche Rotation verſetzen: Man ſtelle auf den Pol eines aufrecht ſtehenden Magnetes eine Kupferſchale von 4—5 Zoll Durchmeſſer, die in der Mitte aufwärts gedrückt iſt, um in dieſer Stellung ruhig zu verharren. Auf dieſen in die Höhe gedrückten Theil lege man einen Zinkring und gieße mit einer Salmiaklöſung gemiſchte Salzſäure in die Schale, damit durch das Kupfer und Zink ein elektriſcher Strom erregt werde, der durch die Flüſſigkeit geht. Letztere beginnt nun beſonders ſchnell am Zinkringe zu rotiren und nimmt ſelbſt hineingelegte Papierſtückchen mit (Schweigg. J. 55. 15). Am leichteſten ſtellt man eine ſolche Rotation nach Schweigger dar, wenn man auf einen Pol eines kräftigen Hufeiſenmagnetes ein Uhrglas mit einer Miſchung von Salpeterſäure mit etwas Salzſäure ſetzt und ein Stückchen Silberdraht nebſt einem Zinkdrahte hineinhält. Sobald dieſe Drähte ſich an den oberen Enden berühren, beginnt ein elektriſcher Strom und mit ihm in der Flüſſigkeit zwei deutlich ſichtbare Wirbel um die Drähte, deren Richtung ſich in die entgegengeſetzte verwandelt, wenn man das Schälchen auf den andern Magnetpol überträgt. Ritchie hat zwei Apparate zur Darſtellung der Rotation des Waſſers unter der Einwirkung des Stromes einer Volta'ſchen Säule angegeben. (Pogg. Ann. 27. 582.)

156. Richtet man einen am beſten cylindriſchen Magnetſtab ſo ein, daß er ſich um eine durch die beiden Pole gehende Axe drehen kann, und läßt ihn von Elektricität in der Art durchſtrömen, daß dieſe an einem Pole eintritt und in der Mitte (bevor die andere Polhälfte beginnt) wieder den Magnet verläßt oder umgekehrt; ſo beginnt dieſer Magnet um ſeine eigene Axe zu rotiren, indem ſeine außerhalb der Axe liegenden, von Elektricität durchſtrömten Theile zugleich als Stromleiter angeſehen werden können. Man unterſtützt aber die Rotation eines ſolchen Magnetes meiſtens dadurch, daß man den Magnet mit einer Hälfte in Queckſilber taucht, das als Stromleiter mitdient und ſomit ſelbſt außerhalb des Magnetes Ströme entſtehen läßt. Zur Darſtellung dieſer Erſcheinung bedient man ſich am einfachſten des Apparates Fig. 240, worin NS den zwiſchen zwei feinen Spitzen drehbaren Magnet, und A ein die untere Hälfte deſſelben umgebendes Gefäß vorſtellt, das mit Queckſilber gefüllt wird. Die obere Spitze ſteht mit dem einen, der Rand der Queckſilberfläche mit dem andern Pole einer Volta'ſchen Kette in leitender Verbindung. Geht der Strom im Magnete aufwärts und ſteht der Nordpol oben, ſo ſieht man den Magnet ſich von der Rechten gegen die Linke drehen; die Richtung dieſer Drehung wechſelt, wenn eine dieſer Bedingungen in die entgegengeſetzte übergeht.

157. Läßt man einen Polardraht auf beide Pole eines Magnetes zugleich wirken, ſo kann keine Rotation eintreten, weil jeder Pol nach einer Richtung ſich zu drehen ſtrebt, welche der des andern entgegengeſetzt iſt, und dieſem Beſtreben wegen der unveränderlichen Ver-

bindung beider Pole nicht Folge geleiſtet werden kann. Das Beſtreben zu Rotiren kann ſich aber dadurch äußern, daß ſich der Magnet quer auf den Polardraht ſtellt, ſo daß jeder Pol nach jener Seite hingekehrt iſt, nach welcher er die Rotation zu beginnen ſucht. Demnach reducirt ſich in einem ſolchen Falle das Phänomen der Wirkung eines Polardrahtes auf einen Magnet darauf, daß letzterer eine Ablenkung erleidet und ſich ſenkrecht auf den elektriſchen Strom zu ſtellen ſucht. Wo der Erdmagnetismus dieſem Beſtreben entgegen wirkt, wird der Magnet in einer Zwiſchenlage ins Gleichgewicht kommen, und ſeine Ablenkung von der durch den Erdmagnetismus beſtimmten Lage wird deſto größer ſeyn, je größer die Richtkraft des Magnetes gegen die Wirkung des elektriſchen Stromes iſt.

Alle dieſe Sätze laſſen ſich unbeſchränkt durch Verſuche beweiſen, ja die ſo eben erwähnten Ablenkungsphänomene ſind es, womit Oerſted die Entdeckungen im Gebiete des Elektromagnetismus begonnen hat. Die Oerſted'ſche Entdeckung beſteht nämlich in Folgendem: Gibt man dem aus einem nicht magnetiſchen Stoffe beſtehenden Schließungsdraht eines kräftigen Volta'ſchen Elementes im magnetiſchen Meridian eine horizontale Lage, bringt dann eine in horizontaler Stellung im Gleichgewichte befindliche, aber nach allen Richtungen bewegliche Magnetnadel über oder unter den Draht und läßt durch letzteren den elektriſchen Strom gehen; ſo erleidet die Nadel eine Ablenkung in der Horizontalebene und zwar nach einer Richtung, wenn ſie ſich über, nach der entgegengeſetzten, wenn ſie ſich unter dem Schließungsdrahte befindet. So wie der Strom aufhört, kehrt auch die Nadel wieder in ihre durch den Erdmagnetismus beſtimmte Richtung zurück. Bringt man ſie ſeitwärts neben dem Schließungsdrahte an, ſo erfährt ſie, ſobald der Strom beginnt, eine Ablenkung in der Verticalebene und zwar erhebt ſich auf der einen Seite des Drahtes der Nordpol, auf der andern der Südpol. Die Richtung, in welcher ein beſtimmter Pol der Nadel, z. B. der Nordpol, abgelenkt wird, hängt ab von der Richtung des elektriſchen Stromes. Geht dieſer von Süd nach Nord, ſo wird der Nordpol einer über dem Drahte befindlichen Magnetnadel nach Oſt, jener einer unter dem Drahte befindlichen nach Weſt abgelenkt. Steht die Nadel an der Oſtſeite des Polardrahtes, ſo wird ihr Nordpol herabgezogen; befindet ſie ſich an der Weſtſeite, ſo wird dieſer Pol erhöht. Das Umgekehrte von allen dieſem erfolgt, wenn der Strom von Nord nach Süd geht. Vergleicht man die Richtung dieſer Ablenkung mit der Regel, nach welcher man in 154 die Rotationsrichtung beurtheilt; ſo findet man dieſe Regel hier vollkommen anwendbar und überzeugt ſich, daß die Ablenkung des Nordpoles der Magnetnadel immer nach der Linken eines im elektriſchen Strome befindlichen Beobachters vor ſich geht, wenn dieſer ſo ſteht, daß der Strom von ſeinen Füßen zum Kopfe geht und er auf die Magnetnadel hinſieht. Dieſer Umſtand beweiſet deutlich, daß dieſe Ablenkungen die Folgen des Beſtrebens zu Rotiren ſind, wie vorhin dargeſtellt worden iſt. Eine aſtatiſche Magnetnadel ſtellt ſich immer ſenkrecht auf den Schließungs-

draht, wieder in Uebereinſtimmung mit dem ſo eben Geſagten. Macht der elektriſche Strom mit dem magnetiſchen Meridian einen ſpitzigen Winkel, ſo erfolgt die Ablenkung wie vorher, nur ſchwächer. Man kann ſich vorſtellen, es laſſe ſich dieſer Strom in zwei andere Ströme zerlegen, in einen mit dem magnetiſchen Meridian parallelen und dieſer iſt es, der die Ablenkung bewirkt, und in einen darauf ſenkrechten, der keine ablenkende Wirkung äußert.

158. Die Kraft, mit welcher der elektriſche Strom bei dieſen und ähnlichen Verſuchen auf die Magnetnadel wirkt, zeigt ſich augenſcheinlich um ſo ſchwächer, je weiter die Nadel von dem Schließungsleiter der Volta'ſchen Kette entfernt iſt. Es iſt nun die Frage, nach welchem Geſetze dieſe Kraft abnehme. Dieſes iſt zuerſt von Biot aus Schwingungsverſuchen und von Schmidt (Gilb. Ann. 70. 273) aus Verſuchen über die Gleichgewichtslagen einer aſtatiſchen Magnetnadel beſtimmt worden. Es zeigte ſich, daß die Kraft, welche ein langer gerader Schließungsdraht auf einen Magnetpol ausübt, dem Abſtande dieſes Poles von dem Drahte umgekehrt proportionirt ſey; übrigens iſt die Richtung der Kraft, wie ſchon aus den oben beſchriebenen Verſuchen hervorgeht, ſenkrecht gegen die Ebene, welche den Draht und den Magnetpol enthält. Erlaubt man ſich, obgleich ein einzelnes Theilchen eines elektriſchen Stromes für ſich nicht exiſtiren kann, dennoch die Annahme, daß die von dem Schließungsdrahte ausgehende Kraft das Reſultat des Zuſammenwirkens der Elementarkräfte ſey, welche allen einzelnen Stromtheilchen zukommen; ſo wird man durch den Calcul auf die Folgerung geführt, daß jedes Stromtheilchen auf einen Magnetpol oder überhaupt auf jedes magnetiſche Elementartheilchen ſenkrecht gegen die Ebene, in der ſich beide befinden, eine Kraft ausübe, welche ſich verhält, direct wie die Länge des Stromtheilchens und wie der Sinus des Winkels, den die Richtung des Stromes mit der vom Stromtheilchen bis zum betreffenden Magnetpole gezogenen Geraden einſchließt, endlich verkehrt, wie das Quadrat der Entfernung des Stromtheilchens vom Pole oder dem magnetiſchen Theilchen. In allen Fällen, wo man die reſultirende Wirkung eines Stromes auf einen Magnet berechnen kann, erhält man allerdings Reſultate, welche mit den durch die Erfahrung gegebenen völlig übereinſtimmen; aber es gibt nur einige Fälle, wo die bekannten Rechnungskunſtgriffe hinreichen, um dieſe Reſultirende zu finden. Ein leicht zu berechnender Fall iſt der, wo der Stromleiter die Geſtalt eines Kreiſes hat und auf eine kleine Magnetnadel wirkt, die ſich in der verlängerten Axe jenes Kreiſes befindet, mithin auf der Ebene deſſelben ſenkrecht ſteht. Es ſey BD (Fig. 241) der Kreis, in welchem der elektriſche Strom circulirt und zwar nach der vom beigeſetzten Pfeil bezeichneten Richtung, A ſein Mittelpunct, AC ſeine Axe und p der Magnetpol, auf welchen der Strom wirkt. Man betrachte zuerſt ein Stromſtück, deſſen Größe mit a bezeichnet werden mag. Dieſes wird den Pol p nach der auf der Geraden pB ſenkrechten Linie pq zu bewegen ſuchen, wenn p ein Nordpol iſt, hingegen nach der entgegengeſetzten Richtung, wenn

p einen Südpol vorſtellt. Bezeichnet pq zugleich die Größe der Kraft, mit welcher die Wirkung auf p erfolgt, und man zerlegt ſie in die auf AC ſenkrechte qr und in die in die Linie AC fallende pr; ſo ſieht man leicht ein, daß die auf AC ſenkrechten Componenten des ganzen kreisförmigen Stromes ſich aufheben und demnach als Reſultirende nur die in AC fallende übrig bleibt. Bezüglich des Stromelementes a iſt die Wirkung $pq = \frac{ams}{l^2}$, wenn m die Intenſität des Magnetpoles, s die Stärke des Stromes und l die Entfernung des Elementes a vom Pole oder die Linie Bp bedeutet. Daraus ergibt ſich die Componente $pr = pq \,.\, \mathit{sin}.\, pqr = pq \,.\, \frac{AB}{Bp}$, weil $pqr = ApB$ iſt, oder wenn $AB = r$ geſetzt wird, $pq = \frac{ams}{l^2} \,.\, \frac{r}{l} = \frac{amsr}{l^3}$. Wird für a die Peripherie $2r\pi$ geſetzt, ſo hat man als Wirkung des ganzen Stromes $S = \frac{2r^2\pi \,.\, ms}{l^3}$. Befindet ſich der Magnetpol im Mittelpuncte des Kreiſes, ſo iſt $l = r$ und beſagte Wirkung $S_1 = \frac{2\pi}{r} \,.\, ms$. Die Einheit dieſer Wirkung iſt jene, womit ein Leiter von der Länge = 1 zu einem Kreisbogen vom Halbmeſſer = 1 geformt, auf den im Mittelpuncte dieſes Kreisbogens befindlichen Magnet = 1 die bewegende Kraft = 1 ausübt. Denkt man ſich p ſo weit von A entfernt, daß es erlaubt erſcheint, $Bp = Ap$ zu ſetzen, ſo ſtimmt der ſo gefundene Werth von S völlig mit dem überein, welcher (nach 28) die Wirkung eines ſehr kleinen Magnetes auf einen in der Verlängerung ſeiner Axe liegenden magnetiſchen Punct bezeichnet, und man kann daher die Wirkung eines kreisförmigen elektriſchen Stromes m der eines transverſal magnetiſchen Ringes gleich ſetzen. Dieſes wird ſogar durch Verſuche beſtätiget Wickelt man einen Draht um zwei Glasröhren, wie es Fig. 242 zeigt, läßt das abwärts gehende Drahtende in Queckſilber tauchen, während das aufwärts gerichtete in einen Haken ausläuft, mit dem es in ein etwas Queckſilber enthaltendes Schälchen eingreift; ſo ſtellt dieſes ein Syſtem hinter einander ſtehender, kreisförmiger Polardrähte dar. Verbindet man nun eine kräftige galvaniſche Kette mit den zwei Queckſilberbehältern, ſo verhält ſich dieſer Apparat gerade wie ein beweglich aufgehängter Magnetſtab, er beurkundet einem Magnete gegenüber ſeine Pole, ja wenn man für hinreichende Beweglichkeit Sorge getragen hat, ſo ſtellt er ſich wie eine Declinationsnadel in den magnetiſchen Meridian.

159. Gleichwie ein fixer Polardraht eine bewegliche Magnetnadel in Bewegung ſetzt, eben ſo muß ein fixer Magnet auf einen beweglichen Polardraht wirken. Um dieſes zu zeigen, denke man ſich den doppelt rechtwinklig gebogenen Draht O (Fig. 243) um die verticalen Spitzen m und n leicht beweglich und von Elektricität durchſtrömt. Dieſer Draht wird, ſo wie man ihm einen Magnet nähert, von demſelben angezogen oder abgeſtoßen und zwar erſteres, wenn der elektri-

ſche Strom im Leiter aufwärts geht und, von der Drehungsaxe angeſehen, den genäherten Nordpol zur Rechten hat, letzteres, wenn in Bezug auf die Richtung des Stromes oder die Stellung oder die Beſchaffenheit des genäherten Poles das Gegentheil Statt findet. Bei einem ſolchen Drahte kann, wenn er nur empfindlich genug aufgehängt iſt, die magnetiſche Kraft eines Stahlſtabes durch jene der Erde vertreten werden. Es ſtellt ſich auch wirklich der Draht, durch den Einfluß des Erdmagnetismus auf den elektriſchen Strom, in eine auf den magnetiſchen Meridian ſenkrechte Ebene. Richtet man den Draht O ſo ein, daß ſeine Maſſe zu beiden Seiten der Axe m n gleich vertheilt iſt und er daher, wenn dieſe ſeine Axe horizontal liegt, in Bezug auf ſelbe äquilibrirt erſcheint; ſo ſtellt er ſich, ſobald ein ſtarker elektriſcher Strom durch ihn geht und die Axe m n ſenkrecht gegen den magnetiſchen Meridian gerichtet iſt, in die Lage des magnetiſchen Aequators.

160. Wir ſehen einen Körper, der auf eine Magnetnadel abſtoßend wirkt, als einen magnetiſchen an, daher müſſen wir auch dem elektriſchen Strome magnetiſche Kraft beilegen. Dieß wird durch das Verhalten des Schließungsdrahtes gegen unmagnetiſches Eiſen vollkommen gerechtfertiget. Der elektriſche Strom ertheilt nämlich jedem Körper, durch den er geht, magnetiſche Kraft. Der Polardraht einer thätigen Volta'ſchen Säule zieht Eiſen an wie ein Magnet, er mag aus was immer für einem Materiale beſtehen, wenn er nur die Elektricität hinreichend leitet; doch dauert dieſes nur ſo lange, als der elektriſche Strom anhält, ſobald er aber aufhört, verſchwinden auch alle Spuren des Magnetismus. Der Zuſtand eines ſolchen Magnetes iſt bis jetzt noch nicht ſo weit ausgemittelt, daß man ſeine Pole anzugeben im Stande wäre, und wenn es überhaupt erlaubt iſt, von magnetiſchen Polen eines ſolchen zu reden, ſo muß man ihn als einen Transverſalmagnet anſehen. Eiſenfeilſtückchen, die man ihm nähert, hängen ſich nicht ſo an ihn an, wie ſie dieſes an einem gewöhnlichen Magnete thun, ſondern ſie wickeln ihn ein und legen ſich der ganzen Länge nach quer um ihn herum. Dieſe merkwürdige Wirkung des elektriſchen Stromes hat zuerſt Arago wahrgenommen.

161. Die magnetiſche Kraft des elektriſchen Stromes offenbart ſich ferner dadurch, daß man durch einen ſolchen Strom Eiſen und Stahl magnetiſiren kann. Wird ein elektriſcher Strom ſchief über ein Eiſenſtäbchen geleitet, ſo erlangt dasſelbe ſchon magnetiſche Kraft. Dieſe wird noch größer, wenn der Strom das Stäbchen rechtwinklig kreuzt, und endlich noch viel bedeutender, wenn man mehrere elektriſche Ströme quer über das Stäbchen gehen läßt. Letzteres findet Statt, wenn man den Polardraht zu einer hohlen Schraube zuſammenwindet und den zu magnetiſirenden Körper darein legt; denn in dieſem Falle kann man ſich die Richtung jedes Schraubenganges in zwei zerlegt denken, wovon eine auf der Axe der Schraube ſenkrecht ſteht, während die andere mit ihr parallel läuft. Letztere bringt keine hieher gehörige Wirkung hervor und es vertritt daher die Schraube eben ſo viele quer über das Stäbchen geſpannte Polardrähte, als Schraubenwindungen

in die Länge deſſelben fallen. Die magnetiſirende Kraft, welche da unter günſtigen Umſtänden eine Volta'ſche Kette entwickelt, iſt unglaublich. Man kann durch dieſes Mittel ein weiches Hufeiſen, das überfirnißt, mit Seide oder Wollband und mit einem etwa 1 L. dicken Kupferdrahte ſchraubenförmig umwickelt iſt (Fig. 244), deſſen Ende mit den Polen eines mäßigen Volta'ſchen Elementes in Verbindung ſtehen, ſtark magnetiſiren, und dieſer Magnetismus bleibt zum Theile, ſelbſt wenn der Strom aufgehört hat, bis man den Anker wegnimmt, in welchem Falle er aber ganz verloren geht. Die volle magnetiſche Kraft wird jedoch nicht im Augenblicke des Stromeintrittes, ſondern erſt allmälig erreicht. Man nennt einen ſo erzeugten Magnet einen **temporären** oder einen **Elektromagnet**. Alles, was die Intenſität der durch den Polardraht ſtrömenden Elektricität vermindert, ſetzt auch die magnetiſirende Wirkung des Stromes herab. Daher wirkt ein Strom, der durch Schwefelſäure geht, ſo ſchwach. Man kann immer die Lage der Pole des ſo zu erzeugenden Magnetes angeben. In einer links gewundenen Schraube wird immer jene Hälfte die Nordhälfte, welche dem Eintritte des elektriſchen Stromes am nächſten iſt und daher die andere die Südhälfte; in einer rechts gewundenen Schraube erfolgt das Gegentheil.

Sturgeon hat zuerſt auf die mächtige magnetiſirende Kraft eines ſchwachen elektriſchen Stromes aufmerkſam gemacht. Ein weiches Hufeiſen von 29 Pfd. mit Spiralen von 5 Mill. dickem Eiſendrahte erhielt durch eine einfache Kette mit Platten von 14 Mill. Durchmeſſer eine Tragkraft von 48 Pfd. und durch eine ſolche mit Platten von 70 Q. Centim. Oberfläche eine Kraft von 124—153 Pfd. Einem 11 Pfd. ſchweren weichen Hufeiſen ertheilt man leicht mit einem Zinkkupferelemente von 1 Q. Fuß Oberfläche und 2 Linien dicken Kupferdrähten eine Kraft von 120 Pfd., mit einem Elemente von 4 Q. F. aber leicht eine Kraft von 200 Pfd. Ten Eyk hatte hierin ſehr Großes erzielt und einem Hufeiſen von 59½ Pfd. Gewicht mit einem Elemente von 4$^7/_9$ Q. F. Oberfläche eine Tragkraft von 2063 Pfd. ertheilt. (Moll in Zeitſchr. 9. 106 und in Pogg. Ann. 29. 468; Ten Eyk in Schweigg. J. 65. 115.) Doch werden dieſe Verſuche durch die in neueſter Zeit aufgefundenen Verbeſſerungen ſowohl des Volta'ſchen Apparates, wie auch der Einrichtung des Elektromagnetes überflügelt. In erſterer Beziehung zeigt ſich bei Magnetiſirungsverſuchen eine galvaniſche Kette nach Grove außerordentlich wirkſam und ein Gleiches gilt auch von den Surrogaten für ſelbe. In letzterer Hinſicht ſind die von Joule und von Radford zu Mancheſter conſtruirten Elektromagnete merkwürdig. Joule umwickelte der Länge nach einen Hohlcylinder von Eiſen (8 Z. engl. lang, 3¼ Z. im äußeren, 1 Z. im inneren Durchmeſſer haltend), von dem ein Stück der Axe parallel abgeſchnitten war, das zugleich den Anker vorſtellte, mit 4 Kupferdrähten, jeder 23 F. lang, $^1/_{11}$ Z. dick. Dieſer Elektromagnet iſt gleichſam eine Folge an einander gelegter kurzer Hufeiſenmagnete, ſo daß zwei ſehr breite Schenkel entſtehen. Mit einer Zinkeiſenbatterie ſtieg die Tragkraft auf 2030 Pfd. Bei einem andern Verſuche, wo 21 Drähte von $^1/_{25}$ Z Dicke angewendet wurden, mit einer Kette von 16 Elementen zu 1 Q. F., auf 2775 Pfd. Ein anderer Cylinder, 2 F. lang mit bloß einer Lage von 5 L. dickem Kupferdrahte verſehen, der mitten durch, dann an jedem Schenkel außen vorbeiging, zeigte eine Tragkraft von 18 Ctn. Radford's Magnet

beſteht aus einer maſſiven cylindriſchen Eiſenplatte, an deren Baſis ein Spiralgang eingeſchnitten iſt, der den Draht enthält. Ein Ende desſelben iſt in der Mitte nach oben durchgezogen, das andere geht ſeitwärts am Rande hinaus. Eine ähnliche Platte dient als Anker. Ein ſolcher Magnet von 9 Zoll Durchmeſſer, deſſen Gewicht 16 Pfd. war, trug bei einem Anker von 14$^1/_2$ Pfd. eine Laſt von 2500 Pfd. Die Zinkeiſenbatterie enthielt 12 Zellen zu 1 Q. F. (Pogg. Ann. 51. 378. Ann. of Electricity. 6. 231.) Es iſt klar, daß man einen, wenn auch nur temporären Elektromagnet zur Erzeugung von Stahlmagneten durch Streichen benützen könne. Ein Stahlſtab, der im glühenden Zuſtande mit jedem Ende an einen Pol eines ſtarken Elektromagnetes angelegt und in dieſer Lage abgelöſcht wird, ſoll hiedurch ſtarken Magnetismus erhalten. (Ann. de Chim. 51. 442.)

162. Die Umſtände, von welchen der im weichen Eiſen durch den Volta'ſchen Strom hervorgerufene Magnetismus abhängt, ſind: die Stärke des elektriſchen Stromes, die Leitungsfähigkeit des Drahtes, die Anordnung der Windungen, die Homogeneität, Weiche und Maſſe des Eiſens u. dgl. Die Geſetze, nach denen ſich ihr Einfluß auf den Erfolg richtet, wurden von Jacobi und Lenz einer genauen theoretiſchen und experimentalen Unterſuchung unterworfen. Es ergaben ſich folgende Reſultate: 1) Die Größe dieſes Magnetismus iſt, bei übrigens gleichen Umſtänden, den angewandten Strömen genau proportional. 2) Bei gleichen Strömen und gleicher Anordnung iſt die Dicke des Spiraldrahtes gleichgiltig; doch erfordert ein dünner Draht zur Erzielung eines gleichen Stromes eine ſtärkere elektriſche Kette. 3) Die Weite der Windungen (der Durchmeſſer der Schraube) hat auf den Magnetismus nur an den Enden des Elektromagnets einigen Einfluß, wo die Kraft bei Vergrößerung dieſer Weite abnimmt. 4) Die Totalwirkung ſämmtlicher Windungen iſt der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich. 5) Der Magnetismus, den Eiſenſtäbe von gleicher Länge bei gleichen Strömen annehmen, iſt ihren Durchmeſſern proportional. 6) Die Anziehung zweier Elektromagnete ohne Berührung (alſo nicht die Tragkraft) oder eines Elektromagnetes und des weichen Eiſens verhält ſich wie die Quadrate der magnetiſirenden Ströme. (Pogg. Ann. 47. 225; 401; ebend. 51. 358.)

Dieſe Unterſuchungen haben ein großes praktiſches Intereſſe bezüglich der zuerſt von Jacobi und nach ihm von Andern vielfach verſuchten Anwendung der elektromagnetiſchen Kraft zum Maſchinenbetriebe. Da nämlich die Stellung der Pole eines Elektromagnetes von der Richtung des in ſeiner Drahtſpirale enthaltenen galvaniſchen Stromes abhängt und jene Pole die entgegengeſetzte Beſchaffenheit annehmen, wenn dieſe Richtung umgekehrt wird; ſo geht, wenn dieß in der Nähe eines andern Magnetes geſchieht, die frühere Anziehung der einander gegenüber liegenden Pole in Abſtoßung über. Hiernach läßt ſich eine Einrichtung treffen, um eine continuirliche Bewegung zu bewirken. Das Weſen einer ſolchen Einrichtung ſtellt ſich auf die einfachſte Weiſe an Ritchie's rotirendem Elektromagnete dar. Man verſehe eine Holzſcheibe AB (Fig. 245), welche zwiſchen die zwei Schenkel eines entweder conſtanten oder erſt durch einen elektriſchen Strom zu erzeugenden Hufeiſenmagnetes paßt, mit einer kreisförmigen Rinne, die in der Richtung eines Durchmeſſers durch iſolirende Scheidewände in

zwei Hälften getheilt iſt, ferner umwickle man ein Eiſenſtäbchen, das etwas kürzer iſt als der Durchmeſſer obiger Scheibe, mit Kupferdraht, der durch einen Seidenüberzug iſolirt iſt und gebe ihm eine ſolche Einrichtung, daß es ſich um eine auf der Scheibe ſenkrechte Axe bewegen kann und dabei die beiden Drahtenden in die genannte Rinne hineinreichen. Wird nun die Scheibe zwiſchen den aufrecht ſtehenden Schenkeln des Magnetes befeſtiget, die Rinne mit Queckſilber gefüllt, ſo daß deſſen Oberfläche etwas über die Scheidewand hervorreicht, jedoch ohne dieſelbe zu bedecken, der Magnet auf ſeine Drehungsaxe gebracht, ſo daß die zwei Drahtenden das Queckſilber berühren und ein elektriſcher Strom durch das Queckſilber und den um das Eiſenſtäbchen gewundenen Draht geleitet; ſo beginnt dieſer Stab, der nun ſelbſt ein Magnet iſt, deſſen Pole bei jeder halben Umdrehung wechſeln, bei gehöriger Lage der Scheidewand, um ſeine Axe zu rotiren. Statt des rotirenden Elektromagnetes kann man auch ein kupfernes, um eine Axe bewegliches Rechteck oder ein mehrfaches Drahtgewinde brauchen, deſſen Enden in das Queckſilber der Rinne reichen. Die Stelle des fixen Magnetes kann auch die Erde vertreten. Die Lebensfrage des Elektromagnetismus als Surrogat für die Dampfkraft iſt als entſchieden anzuſehen; der großen Kraft ungeachtet, welche die Magnete im Zuſtande der Ruhe zeigen, kann nicht eine entſprechende Bewegung erzeugt werden, weil gerade dieſe Kräfte während der Bewegung andere hemmende Kräfte hervorrufen, deren Natur auf ſpäter zu erklärenden Principien beruht.

163. Da ein gehörig angeordneter elektriſcher Strom in der Wechſelwirkung zweier Magnete den einen Magnet vertreten kann, ſo iſt zu vermuthen, daß dabei auch der andere Magnet durch einen elektriſchen Strom erſetzt werden könne, was die Erfahrung beſtätiget. Hieraus folgt ſogleich die wichtige Entdeckung Ampère's, daß überhaupt ein elektriſcher Strom auf einen andern einwirkt. Ampère hat dieſe Action, durch entſcheidende Verſuche geleitet, auf eine Kraft zurückgeführt, welche jedes kleinſte Stromtheilchen auf jedes andere Stromtheilchen ausübt. Läßt man dieſe Zerlegung elektriſcher Ströme in kleinſte Theilchen gelten, ſo wirkt dieſe Kraft längs der Verbindungslinie je zweier Stromtheilchen, iſt der Stärke der Ströme und den Größen der Theilchen direct, dem Quadrate ihres Abſtandes verkehrt proportionirt, hängt aber überdieß noch von einem Factor ab, der durch die gegenſeitige Lage der Richtungen der Stromtheilchen beſtimmt wird und deſſen mathematiſchen Ausdruck Ampère angegeben hat. Hiernach läßt ſich die aus der Geſammtwirkung aller Stromtheilchen reſultirende Wechſelwirkung zweier, wie immer geſtalteter Ströme auf das Schärfſte berechnen. Die Unzulänglichkeit der elementar-mathematiſchen Hilfsmittel erlaubt nicht, hier in ein näheres Detail einzugehen. Wir begnügen uns daher mit der Angabe einiger ſpecieller, unter dem allgemeinen Geſetze enthaltener und eines einfachen Ausdruckes fähiger Fälle, von denen ſich zur qualitativen Erklärung der Erſcheinungen ein nützlicher Gebrauch machen läßt. Sie ſind: 1) Zwei geradlinige unter einem Winkel gegen einander geneigte Stromtheile ziehen ſich an, wenn beide gegen den Scheitel des Winkels gerichtet ſind oder beide von dem Scheitel weggehen; geht aber ein Strom gegen den Scheitel des Winkels hin, der andere davon

weg, ſo ſtoßen ſich die Ströme ab. 2) Zwei geradlinige parallele Stromtheile, die nach einerlei Gegend gerichtet ſind, ziehen ſich an; ſind aber die Richtungen derſelben entgegengeſetzt, ſo ſtoßen ſie ſich ab. Dieſes zweite Geſetz läßt ſich unter das erſte ſubſumiren, wenn man parallele Linien als ſolche betrachtet, die einen Winkel von 0° einſchließen. 3) Die Theile deſſelben Stromes ſtoßen einander ab. Auch dieſes folgt aus (1), wenn man die Verlängernng einer Richtung als den zweiten Schenkel eines Winkels von 180° betrachtet. 4) Ein geradliniger Stromtheil, der ſo gegen einen geraden Strom geſtellt iſt, daß ſeine Richtung rückwärts verlängert den letzteren trifft, wird längs der Richtung dieſes Stromes getrieben; ſteht aber der erſtere Stromtheil ſo, daß er gegen den andern hingeht, ohne ihn zu durchſchneiden, ſo wird er in einem der Richtung des letztern entgegengeſetzten Sinne getrieben. Dieß iſt eine einfache Folge des Geſetzes (1). Es ſey nämlich A B (Fig. 246) die Lage des von dem Strome C D afficirten Stromtheiles, E der Punct, in welchem C D von der verlängerten Linie A B geſchnitten wird, und nehmen wir die Richtungen der Ströme ſo, wie ſelbe die beigeſetzten Pfeile anzeigen; ſo ziehen ſich die Stromtheile E D und A B an, und C E und A B ſtoßen ſich ab; es wird alſo A B nach C D hin getrieben. Hätte aber der Strom in A B die entgegengeſetzte Richtung, ſo würde A B nach D C getrieben. Kann alſo im erſten Falle der Leiter A B ſich parallel zu ſeiner anfänglichen Poſition verſchieben, ſo ſchreitet er längs C D vorwärts; kann er ſich um B drehen, ſo wird er in Rotation verſetzt und die Einwirkung, die er dabei in allen ſeinen Lagen von C D erfährt, befördert die Drehung in demſelben Sinne. Nähert man aber unter der Vorausſetzung, daß ſich A B um B drehen kann, den Strom C D dem Stromtheile A B, bis jener dieſen ſchneidet; ſo kommt wegen der conträren Action von C D auf die beiden Stücke von A B endlich eine ſolche Stellung zum Vorſchein, worin das Beſtreben zur continuirlichen Rotation aufhört und eine Gleichgewichtslage von A B möglich wird. Alle dieſe und noch viele andere Folgerungen hat Ampère durch ſcharfſinnig ausgedachte Experimente bekräftiget. Bei ſolchen Verſuchen darf der Einfluß der Erde auf die beweglichen Stromleiter nicht außer Acht gelaſſen werden, der um ſo greller hervortritt, je beweglicher die Theile des Apparates und je kräftiger die Ströme ſind. Ampère hat ſtets dafür geſorgt, jede Wirkung der Erde durch eine entgegengeſetzte aufzuheben.

Um die Sätze 1) und 2) experimentell zu rechtfertigen, bedient man ſich eines Drahtes A B C D von der Form wie Fig. 247 zeigt, den man an einem Geſtelle, wie M iſt, leicht beweglich aufhängt. Die Schälchen x, y, worein die ſpitzigen Drahtenden eingreifen, enthalten etwas Queckſilber und ſind die Ein- und Austrittsſtellen des galvaniſchen Stromes. Dieſem beweglichen Leiter bietet man einen fixen Leiter, wozu ſich am beſten ein quadratiſcher, mit einem mehrfachen Drahtgewinde umgebener Rahmen eignet, deſſen Draht man gleichfalls in die galvaniſche Kette einſchaltet, in verſchiedenen Poſitionen dar. Legt man eine Seite des Rahmens unter B C, ſo kann man das Geſetz 1) be-

weiſen; ſtellt man den Rahmen auf, ſo daß eine Seite mit AB parallel wird, ſo rechtfertiget ſich das Geſetz 2). Eine Folge des Geſetzes 1) iſt die Rotation eines beweglichen Rechteckes oder Drahtgewindes, das man ganz auf ähnliche Weiſe wie den ſich drehenden Elektromagnet in Ritchie's Apparate (vergl. 162) anbringt, deſſen fixen Magnet man mit einem ähnlichen Drahtgewinde vertauſcht hat, unter welchem das vorgenannte vorbeigehen kann. Die Pole der Volta'ſchen Kette, welche den Strom liefert, werden mit dem einen Drahtende des äußeren fixen Gewindes und mit einem der Queckſilberfächer, worein die Enden des beweglichen Drahtes tauchen, in Verbindung geſetzt. Das zweite Ende des fixen Gewindes geht zum andern Queckſilberfache. So geht der Strom in einem Zuge durch beide Gewinde. Die in das Queckſilber reichenden Enden des beweglichen Stromleiters ſtehen über der Scheidewand beider Fächer in dem Augenblicke, wo dieſer Leiter unter den äußeren tritt; der Strom wechſelt in dem beweglichen Theile ſeiner Richtung, die frühere Anziehung beider Leiter geht in Abſtoßung über, der bewegliche Leiter wird zum Weitergehen beſtimmt und es findet ſomit eine continuirliche Rotation Statt. Um die Anziehung gleichlaufender Ströme auf eine einfache Weiſe zu zeigen, winde man einen langen Draht zu einer ſchlaffen, hohlen Spirale zuſammen, hänge ſie in verticaler Richtung ſo auf, daß das untere Ende in Queckſilber taucht und leite einen elektriſchen Strom durch. Die Spirale zieht ſich durch die Anziehung der in den einzelnen Windungen gleich fließenden Ströme zuſammen, tritt unten aus dem Queckſilber, wodurch der Strom aufhört, die Spirale ſich wieder eintaucht, abermals zuſammenzieht und ſo fortwährend oſcillirt. Die Anziehung und Abſtoßung paralleler Ströme läßt ſich auch mittelſt der Maſchinenelektricität darſtellen, wenn man nur die Schnelligkeit der Entladung durch Einſchaltung ſchlechterer Leiter mäßiget oder durch Anbringen von Spitzen an den Leitern ein continuirliches Ausſtrömen der Elektricität herbeiführt. (Schmidt in Gilb. Ann. 68. 28.) Es hat ſogar den Anſchein, daß ſich elektriſche Funken dieſen Anziehungsgeſetzen fügen. (Oſann in Pogg. Ann. 55. 121.)

Um die in 3) ausgeſprochene repulſive Wirkung eines elektriſchen Stromes auf ſich ſelbſt zu erfahren, bediene man ſich eines durch eine Querwand in zwei Fächer getheilten Gefäßes A (Fig 248), fülle in jedes Fach Queckſilber ein, ſetze eines in x mit dem poſitiven, das andere in y mit dem negativen Pole einer Volta'ſchen Säule in Verbindung und lege auf das Queckſilber einen Metalldraht BC, der beide Fächer mit einander verbindet. Sobald der elektriſche Strom beginnt, gleitet der Leiter BC längs der Oberfläche des Queckſilbers hin und entfernt ſich von x und y.

Zur experimentalen Rechtfertigung des Geſetzes 4) umwickle man ein Glasgefäß A (Fig. 249) mit einem durch einen Seidenüberzug iſolirten Kupferſtreifen. Den Polardraht für den zweiten, verticalen Strom erhält man, wenn man ein Drahtſtück an zwei Stellen unter einem rechten Winkel biegt, ſo daß es aus zwei verticalen und einem horizontalen Theile beſteht, wie abcd, dasſelbe unten mit einem kreisförmigen Kupferſtreifen verſieht, es auf einen durch den Boden des Gefäßes gehenden Stift beweglich ſtellt und in dieſes Gefäß ſäuerliches Waſſer gibt, das den Kupferdraht berührt. Leitet man nun einen elektriſchen Strom ſo, daß er in dem verticalen Stifte aufſteigt, an deſſen Ende in zwei Theilen gegen b und c geht, hierauf abwärts durch ba und cd in den Ring fließt, von dieſem in das ſäuerliche Waſſer gelangt, hierauf in den Kupferſtreifen übergeht und endlich zum negativen Pole der Volta'ſchen Säule gelangt (oder eine gerade entge-

gengeſetzte Richtung nimmt); ſo beginnt alſogleich das Rotiren des Stückes a b c d und zwar nach einer Richtung, die der des Stromes im Kupferſtreifen entgegengeſetzt iſt. Es zeigt ſich auch ein Rotiren des Kupferringes, wenn man den Kupferſtreifen wegläßt. Ampère ſchreibt dieſes dem Erdmagnetismus zu und, wie es ſcheint, mit Recht, da deſſen Wirkung der eines verticalen, mit dem Nordpole abwärts gekehrten Magnetſtabes gleich ſeyn muß; indeß hat man dagegen doch wohl zu beachtende Bedenklichkeiten erhoben. (Muncke in Gehler's Wörterb. 4. 589.)

164. Zu Verſuchen über die bisher erwähnten Wirkungen der elektriſchen Ströme und Magnete auf einander iſt es oft angenehm, die Richtung des Stromes wechſeln zu können, ohne den zu den Polen der Kette gehenden Leitungsdrähten die entgegengeſetzte Anordnung zu geben. Man leiſtet dieſes durch Einſchaltung eines ſogenannten Commutators oder Gyrotrops in den Schließungskreis. Die einfachſte Anordnung desſelben iſt folgende: A, B, C, D (Fig. 250) ſind vier kleine Gefäße mit Queckſilber, oder wenn man den Gebrauch des Queckſilbers beſeitigen will, vier metallene Hülſen, welche an den Eckpuncten eines Quadrates ſtehen. Hievon werden zwei einander diagonal gegenüberliegende, wie A, C mit den Polen der galvaniſchen Kette, die beiden andern B, D mit dem Anfange und Ende der durch Zwiſchenleitungen zuſammenhängenden Folge der Apparate, durch welche der Strom gehen ſoll, in Verbindung geſetzt. An einer iſolirenden Platte befinden ſich vier Metallfüße a, b, c, d, welche in die Oeffnungen A, B, C, D, und zwar wegen der quadratiſchen Form, in jeder Lage paſſen. Hievon ſind a und b, dann c und d in leitender Verbindung. Setzt man nun a b c d ſo auf A B C D, daß die mit den gleichnamigen Buchſtaben bezeichneten Stücke zuſammentreffen, und tritt der Strom bei A ein; ſo geht er nach B, dann durch die ganze Folge der Apparate und kehrt über D nach C zurück. Setzt man aber a b c d ſo auf A B C D, daß die Stücke b c d a an der Ordnung wie ſie jetzt genannt worden ſind, in A B C D kommen; ſo geht der bei A eintretende Strom nach D, durchlauft die Leitung in entgegengeſetzter Richtung und kehrt über B und C zurück.

Sehr bequem iſt die Dispoſition, die Pohl dem Gyrotrop gegeben hat und die Fig. 251 vorſtellt. A, B, C, D, E, F ſind 6 kleine Queckſilberbehälter in gleichen Abſtänden auf einem kreisrunden Brete, wovon A mit D und B mit E durch Metallſtreifen, die ſich bei der Durchkreuzung ausweichen, in leitender Communication ſteht. Ein Bügel mit 6 Metallfüßen, wovon je drei a, f, e, dann b, c, d leitend verbunden und die mittleren f, c etwas länger ſind, wird in die genannten Behälter ſo eingeſetzt, daß die Füße f und c in F und C tauchen und zugleich, je nachdem man den Bügel entweder nach der einen oder der andern Seite wendet, entweder die Füße a, b in A, B oder die Füße e, d in E, D. Bringt man nun in F, C die Zuleitungen von den Polen der Volta'ſchen Kette und in A, B die Enden des Schließungsleiters, durch welchen der Strom geführt werden ſoll, an; ſo geht der Strom bei der erſten Poſition des Bügels von F nach A, durchlauft die Leitung und kehrt über B nach C zurück. Bei der andern Stellung des Bügels geht der Strom von F nach E, B, durchlauft die

Leitung im entgegengeſetzten Sinne und kehrt über A, D nach C zurück. Man kann dem Commutator noch andere Einrichtungen geben. Die erſte Idee des Apparates verdankt man Ampère. Er hat auch einen allgemeinen elektromagnetiſchen Apparat conſtruirt, der alle zur Demonſtration der bisher angeführten Phänomene nöthigen Geräthſchaften als Beſtandtheile umfaßt. Dieſer etwas complicirte Apparat iſt ſeitdem von mehreren experimentirenden Phyſikern abgeändert und vereinfacht worden, im Ganzen betrachtet ſogar entbehrlich, da der Gebrauch getrennter Apparate für die einzelnen Phänomene mehr Bequemlichkeit gewährt.

165. Bisher iſt die Beziehung der magnetiſchen Wirkung eines Stromes zu ſeiner Stärke, d. h. zu der in einer Zeiteinheit durch einen Querſchnitt = 1 des Leiters gehenden Elektricitätsmenge nicht beachtet worden. Man kann aber dieſe Beziehung leicht kennen lernen, indem man hinter einander ungleiche Ströme durch denſelben Schließungdraht in einen Waſſerzerſetzungsapparat leitet und ſie zugleich auf eine Magnetnadel wirken läßt. Man findet, daß dort, wo eine größere Menge Waſſer zerſetzt wird, auch eine größere Einwirkung auf die Magnetnadel Statt findet. Beſtimmt man die Stärke der Ströme numeriſch nach ihrer elektrolytiſchen Wirkung und vergleicht ſie mit den erzeugten Ablenkungen einer Magnetnadel; ſo findet man die jeder Stromſtärke entſprechende magnetiſche Ablenkung und man kann demnach die Ströme eben ſowohl nach letzterer Kraft, wie nach ihrer zerſetzenden Wirkung meſſen. Die Beobachtung der Ablenkung läßt ſich durch andere Mittel erſetzen. Man kann, wie Ohm zuerſt gethan hat, die Magnetnadel an einem elaſtiſchen Draht- oder Glasfaden über dem Polardraht ſchwingen, den elektriſchen Strom darauf wirken laſſen und dann durch Torſion des Fadens die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückführen, wo dann die Torſion der ablenkenden Kraft proportionirt iſt. Ferner kann man eine Magnetnadel über dem Polardrahte in einer gegen ihn ſenkrechten Lage oscilliren laſſen und aus der in einer beſtimmten Zeit vollbrachten Anzahl Schwingungen unter dem bloßen Einfluſſe des Erdmagnetismus allein und dann des Stromes und des Erdmagnetismus zugleich nach der in 22 angegebenen Methode auf die ablenkende Kraft ſchließen. Endlich läßt ſich die Stromſtärke aus der magnetiſchen Kraft eines Stromes auch rein theoretiſch ermitteln. Sie iſt nämlich für den Fall, wo der elektriſche Strom auf die Magnetnadel in jeder Stellung derſelben gleich einwirkt, der Tangente, hingegen, wo der Polardraht der abgelenkten Nadel nachgerückt werden kann und mit derſelben immer parallel bleibt, dem Sinus des Ablenkungswinkels proportionirt.

Nimmt man nämlich ſtatt eines gewöhnlichen Leitungsdrahtes zum Schließen einer Kette einen gleichförmig dicken, breiten Metallſtreifen von einer ſeine Breite wenigſtens fünfmal übertreffenden Länge und läßt über und nahe an demſelben eine Magnetnadel ſpielen, deren Länge nicht über ein Viertel der Streifenbreite beträgt; ſo kann angenommen werden, daß der dem Streifen der ganzen Breite nach gleichmäßig durchfließende Strom auf die Nadel bei jeder Stellung derſelben

gleich einwirkt. Iſt nun P die magnetiſche Kraft der Nadel, T jene der Erde, p die Kraft des Stromes und α der Ablenkungswinkel der Nadel; ſo gibt P T $\sin\alpha$ die Richtkraft der Nadel, p P $\cos\alpha$ die ablenkende Kraft des Stromes an und man hat $pP \cos\alpha = PT \sin\alpha$ oder $p = T \tan\alpha$ (1). Beſteht der Stromleiter aus einem einfachen Drahte oder einem Streifen, bei welchem vorausgeſetzt werden muß, daß der darin fließende Strom auf die Nadel bei jeder Stellung derſelben anders einwirket; ſo muß beſagter Leiter ſtets in derſelben Stellung gegen die Nadel erhalten werden und daher um eine verticale Axe drehbar ſeyn. Bringt man den Leiter immer gerade unter die Nadel, ſo iſt die Richtkraft des Stromes immer der Kraft proportionirt, mit welcher die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückzukehren ſucht. Haben demnach die Größen p, P, α dieſelbe Bedeutung, wie vorhin, ſo iſt die Stärke des Stromes p gleich $PT \sin\alpha$ (2). Es kann demnach eine einfache gut getheilte Bouſſole als Strommeſſer gebraucht werden, die, je nachdem ſie die eine oder die andere der hier angedeuteten Einrichtungen hat, Tangenten- oder Sinusbouſſole genannt wird. Ein mit einer wie immer eingerichteten Bouſſole verbundener Polardraht heißt Galvanometer.

166. Ein Schließungsdraht wird in ſeiner ganzen Länge von einem elektriſchen Strome gleichmäßig durchfloſſen und wirkt an allen Stellen mit derſelben Kraft auf eine Magnetnadel. Wird daher ein ſolcher Draht, der über einer Nadel weggeht, abwärts gebogen und unter der Nadel fortgeführt; ſo muß die Nadel von beiden Drahttheilen nach derſelben Seite abgelenkt werden und die Wirkung des Stromes auf dieſelbe muß verſtärkt erſcheinen. Dieſe Verſtärkung wird noch geſteigert, wenn man den Draht in einem Zuge viele Windungen um die Nadel machen läßt, wobei man aber, damit der Strom genöthiget werde, den ganzen Draht zu durchlaufen, die einzelnen Windungen durch einen iſolirenden Ueberzug, z. B durch Ueberſpinnen mit Seide, hindert, ſich metalliſch zu berühren. Auf ſolche Weiſe erhalt man ein multiplicirendes Galvanometer oder mit einem Worte einen Multiplicator, wie denſelben Schweigger und Poggendorff gleichzeitig angegeben haben. Ein ſolches Inſtrument iſt viel empfindlicher für elektriſche Ströme als ein Waſſerzerſetzungsapparat oder ein anderes auf der elektrolytiſchen Wirkung des elektriſchen Stromes beruhendes Inſtrument, und leiſtet überhaupt das für bewegte Elektricität, was das Elektroſkop für die im Gleichgewichte befindliche leiſtet. So wie ein Elektroſcop ſtatiſche E entweder bloß anzeigt oder auch mißt, eben ſo kann ein Galvanometer die bewegte E entweder bloß anzeigen oder zugleich ihre Größe angeben. Erſteres muß vorzugsweiſe empfindlich ſeyn, letzteres aber in der genauen Angabe der Stromgröße den Hauptvorzug ſuchen.

Für Ströme, die ihrem Urſprunge nach eine große Drahtlänge nicht vertragen, dient Fechner's Galvanometer, aus einem breiten Kupferbleche beſtehend, das in die durch Fig 252 dargeſtellte Form a gebogen iſt, zwiſchen deſſen Schenkeln ſich eine Magnetnadel befindet, die mit

einer zweiten außerhalb des obern Blechſchenkels angebrachten zu einem aſtatiſchen Syſteme verbunden iſt. Das Kupferblech kann auch (für manche Zwecke, z. B. für Schwingungsverſuche ſogar mit Vortheil, wegen des aus ſpäter anzugebenden Gründen die Bewegung der Nadel hemmenden Einfluſſes des Kupferbleches) durch einen Kupferſtreifen erſetzt werden, der einige neben einander liegende Windungen bildet. Man gibt dieſem Streifen auch oft die Form eines Kreiſes, in deſſen Mittelpuncte ſich die im Verhältniß zum Kreisdurchmeſſer nur kleine Magnetnadel befindet, wie dieſes Weber empfohlen hat. Ein äußerſt empfindliches Galvanometer erhält man nach Nobili, wenn man den Draht zu zwei ovalen Ringen, deren einer unter dem andern ſteht, in entgegengeſetzten Richtungen windet und in die Oeffnungen der Ovale zwei aſtatiſch verbundene Magnetnadeln hängt (Fig. 253). Da die Nadeln ſelten vollkommen aſtatiſch ſind, ſo wird die Empfindlichkeit des Inſtrumentes dadurch erhöht, daß man einen Magnetſtab in horizontaler Lage in gewiſſer Entfernung neben das Inſtrument legt, oder über den zwei Nadeln eine dritte mit denſelben feſt verbunden anbringt, die um eine horizontale Axe gedreht und unter einem beſtimmten Winkel gegen den Horizont geneigt werden kann. Marianini windet den Draht fächerförmig (Fig. 254), damit die Nadel, wenn ſie unter einer Windung vorbeigegangen iſt, ſogleich unter eine andere komme. Man kann den Galvanometerdraht auch doppelt nehmen, ſo daß zwei von einander getrennte Gewinde vorhanden ſind, deren Theile neben einander liegen, mithin auf die Nadeln ganz gleich wirken. Hier kann man nach Gefallen entweder eine oder beide Drahtlagen hinter einander von demſelben Strome durchlaufen laſſen oder zwei verſchiedene Ströme in übereinſtimmenden oder entgegengeſetzten Richtungen durch die Windungen ſenden; in letzterem Falle läßt ſich auch ſogleich entſcheiden, welcher von beiden Strömen der ſtärkere ſey. Bei ſolcher Einrichtung heißt das Inſtrument ein Differenzial-Galvanometer.

Zu Intenſitäts-Meſſungen dient auch ein Magnetometer nach Gauß, dem man ein multiplicirendes Drahtgewinde beigefügt hat. Bei dem Fechner'ſchen und Weber'ſchen Galvanometer, ſo auch, wenn bloß eine einzige Drahtwindung und eine in Bezug auf deren Länge ſehr kurze Nadel gebraucht wird, darf man, im Einklange mit dem in 165 Geſagten, die Tangenten der Ablenkungswinkel den im Drahte herrſchenden Stromkräften proportional ſetzen. Ein Gleiches gilt noch, wenn man den Draht in parallelen Lagen um eine cylindriſche Büchſe mit kreisförmiger Baſis windet, innerhalb welcher eine Magnetnadel ſpielt. Hierauf beruht Nervander's Einrichtung des Multiplicators (Ann. de Chim. 55. 156). Gehen die Drahtlagen um ein parallelepipediſches Gehäuſe, ſo richtet man dasſelbe um eine verticale Axe drehbar ein und läßt beim Gebrauche dieſes Inſtrumentes das Gewinde der Nadel folgen, wonach man in dem Sinus des Ablenkungswinkels, der hier mit dem Drehungswinkel des Gehäuſes zuſammenfällt, ein Maß des elektriſchen Stromes hat. Wäre die vom Drahtgewinde ausgehende Kraft ſtärker als die horizontale magnetiſche Erdkraft, ſo kann man die Intenſität des Stromes ſo nicht meſſen, ſie überſteigt die Grenzen des Inſtrumentes. Wenn man aber ein doppeltes Drahtgewinde anwendet und den Strom, nachdem man das eine Gewinde mit einem in die Leitung eingeſchalteten Hilfsdrahte um ein Gewiſſes verlängert hat, ſich in beide Gewinde theilen läßt, ſo daß ſeine Theile ſie in entgegengeſetzten Richtungen durchlaufen; ſo bekommt man eine Differenz von Wirkungen, aus der man das Verhältniß des ſtarken Stromes zu irgend einem ſchwächeren beſtimmen kann. Man kann letzteren ſich ſo in die Gewinde (mit Beibehaltung deſſelben Hilfs-

drahtes) theilen laſſen, daß er ſie in einerlei Sinne durchläuft. Es hängt nämlich das Verhältniß zwiſchen der Summe und der Differenz der Wirkungen für einerlei Strom nur von dem Widerſtandsverhältniſſe der Drähte, nicht aber von der Intenſität des Stromes ab, und bleibt daher, wenn es für eine paſſende Intenſität durch ſpäter zu erklärende Verſuche gefunden worden iſt, für alle andern giltig In manchen Fällen iſt es gut, dem Multiplicatordrahte eine außerordentliche Länge zu geben (Fechner in Pogg. Ann. 45. 232). Mittelſt ſolcher läßt ſich unter andern ſehr leicht zeigen, daß der Strom der gemeinen Maſchinenelektricität eben ſo auf eine Magnetnadel einwirkt, wie jener einer Volta'ſchen Kette.

Da die Ablenkung der Magnetnadel eines Multiplicators ſich mittelſt gut iſolirter Leitungsdrähte in bedeutender Entfernung leicht zu Stande bringen läßt, ſo hat man die zwei Richtungen der Ablenkung, welche den zwei verſchiedenen Richtungen des elektriſchen Stromes entſprechen, als primitive Zeichen zur Telegraphie zu benützen verſucht, durch deren Combination ſich beliebig viele Zeichen bilden laſſen. Am einfachſten hat dieß Bar. Schilling v. Canſtadt ausgeführt: auch Andere, insbeſondere Wheatſtone u. Bain haben dem elektromagnetiſchen Telegraphen ſinnreiche Einrichtungen gegeben.

167. Nach dem bisher Dargeſtellten führt ſowohl die elektrolyſirende als die magnetiſirende Wirkung der elektriſchen Ströme zur Kenntniß ihrer relativen Stärke; man kann aber aus dieſen Wirkungen auch ein abſolutes Maß für dieſelben ableiten. Nach (158) wird die Wirkung eines kreisförmigen elektriſchen Stromes auf eine ſehr kleine, im Mittelpuncte dieſes Kreiſes befindliche Magnetnadel ausgedrückt durch $\frac{2\pi}{r} \cdot ms$, wobei s die Stromſtärke bedeutet, welche nach der in (158) angegebenen Einheit gemeſſen iſt. Bezeichnet nun H den horizontalen Erdmagnetismus, und wird durch den Einfluß des benannten Stromes die Magnetnadel um den Winkel v abgelenkt, ſo hat man:

$$\frac{2\pi}{r} \cdot \frac{ms}{mH} = tang\ v \text{ und hieraus } s = H \cdot \frac{r}{2\pi} tang\ v.$$

Iſt demnach H im abſoluten Maße gegeben, ſo hat dieſes auch in Bezug auf s Statt.

Geſetzt es bewirke ein Strom in einer Tangentenbouſſole, deren Halbmeſſer = 60 Lin. beträgt, eine Ablenkung von 40°, ſo iſt für dieſen Strom

$$s = H \cdot \frac{60}{0.28} tang\ 40° = 8\ H,$$

oder wenn H = 1.774 iſt, s = 14.192, d. h. beſagter Strom wirkt über 14 Mal ſtärker in die Ferne als der freie Magnetismus = 1.

168. Die Beſtimmung elektriſcher Ströme nach abſolutem Maße macht es auch möglich, die Größe der elektrolyſirenden Wirkung der Stromeinheit zu beſtimmen. Es werde in den Stromleiter, der zu einem Waſſerzerſetzungsapparat führt, eine Tangentenbouſſole eingeſchaltet und einerſeits die Ablenkung der Magnetnadel v, andererſeits die in der Zeit t zerſetzte Waſſermenge q beſtimmt. Da iſt nun $\frac{q}{t}$

die in einer Zeiteinheit zerſetzte Waſſermenge, und wenn der elektrolyſirende Strom, in abſolutem Maße ausgedrückt, die Stärke s hat, ſo bezeichnet $\frac{q}{ts}$ diejenige Waſſermenge, welche in der Zeit = 1 durch einen Strom von der Stärke = 1 zerſetzt wird. Sie iſt offenbar das elektrochemiſche Aequivalent des Waſſers. Weber (Pogg. Ann. 55. 181) hat dieſe Größe für die Secunde in Millogrammen = 0.009376 gefunden.

169. Die in dieſem Kapitel behandelten Erſcheinungen führen unwillkürlich zu der Frage über das Verhältniß der elektriſchen und magnetiſchen Kräfte. Wer die elektriſchen Erſcheinungen von einer eigenen elektriſchen Flüſſigkeit ableitet und demnach den elektriſchen Strom als Reſultat der Bewegung dieſes Fluidums von Theilchen zu Theilchen betrachtet, hat nur zwiſchen der Alternative zu wählen, entweder auch magnetiſche Flüſſigkeiten zu poſtuliren und zwiſchen dieſen und den elektriſchen eine Verwandtſchaft vorauszuſetzen, vermög welcher die Bewegung der einen ein Freiwerden der andern zur nothwendigen Folge hat; oder er muß das Weſen des Magnetismus in elektriſche Ströme ſetzen und demnach auch annehmen, daß die magnetiſche Polarität der kleinſten Theile von der Anweſenheit ſolcher Ströme, welche die Theile umkreiſen, herrühre. Letztere Anſicht iſt von Ampère aufgeſtellt und vertheidiget worden. Dieſer gemäß iſt eine unendlich dünne Magnetnadel nichts weiter als ein Syſtem auf einander folgender geſchloſſener elektriſcher Ströme, die in unendlich kleinen Bahnen circuliren und durch deren Mittelpuncte die Nadel ſenkrecht gegen die Ebenen der Bahnen hindurch geht. Eine lineare Reihe ſolcher Ströme nennt Ampère ein Solenoid. Ein Magnetſtab kann als Inbegriff unendlich vieler ſolcher gleich langer paralleler Nadeln angeſehen werden. Das Magnetiſiren beſteht demnach im Erregen oder Anordnen ſchon beſtehender elektriſcher Ströme. Die Einwirkung zweier Magnete auf einander iſt das Reſultat der gegenſeitigen Einwirkung der elektriſchen Ströme, und ſelbſt die Erde hat nach dieſer Anſicht ihre magnetiſche Kraft von elektriſchen Strömen, welche in ihr in der Richtung der ſcheinbaren Bewegung der Sonne, d. h. von Oſt nach Weſt circuliren.

Dieſe Hypotheſe hat allerdings das große Gute für ſich, daß ſie die Annahme eines eigenen magnetiſchen Fluidums überflüſſig macht, doch wollen ihr einige zum Vorwurf machen, daß ſie mit dem allgemeinen Verhalten der Elektricität in guten Leitern nicht im Einklang ſtehe und daß wir ſonſt keinen ſelbſtſtändig beſtehenden elektriſchen Strom kennen. Mir ſcheinen dieſe Bedenken nicht von beſonders großem Belange zu ſeyn. Es werden mehrere Hypotheſen in der Phyſik allgemein als zuläſſig angeſehen, die doch in der Erfahrung kein Analogon haben. So z. B. nimmt man keinen Anſtand, leuchtende Körper als in beſtändigen Schwingungen begriffen anzuſehen, wiewohl wir erfahrungsmäßig keinen Körper kennen, der beſtändig in Schwingungen begriffen wäre.

Zehntes Kapitel.

Inducirende Wirkung des elektriſchen Stromes. (Magneto-Elektricität.)

170. Im Jahre 1831 machte Faraday die wichtige Entdeckung, daß ein elektriſcher Strom unter gewiſſen Umſtänden in einem nahen Leiter einen anderen elektriſchen Strom zu erzeugen vermöge. Nachſtehendes gibt hierüber nähere Auskunft: Man denke ſich zwei neben einander fortlaufende, jedoch nicht in leitender Verbindung ſtehende Leitungsdrähte A und B. Werden die Enden von A mit Einſchaltung eines Galvanometers unter einander leitend verbunden, hierauf die Enden von B mit den Polen einer Volta'ſchen Kette in Verbindung geſetzt; ſo entſteht in dem Augenblicke, in welchem die Kette durch B geſchloſſen wird, wie man am Galvanometer ſehen kann, in A ein elektriſcher Strom, deſſen Richtung jener des Stromes in B entgegengeſetzt, deſſen Dauer aber nur äußerſt kurz iſt; denn die Galvanometernadel bleibt, obgleich der Strom in B anhält, nicht abgelenkt, ſondern kommt nach den gewöhnlichen Schwingungen wieder zur Ruhe. Oeffnet man, nachdem die Nadel in Ruhe gebracht worden, die Kette B, ſo daß der Strom in ſelber aufhört, ſo zeigt ſich in dem Leiter A abermals ein elektriſcher Strom, gleichfalls von nur momentaner Dauer, deſſen Richtung aber jetzt mit jener, welche der Strom in B hatte, übereinſtimmt. Dieſelben Phänomene zeigen ſich auch, während in B ein elektriſcher Strom circulirt, wenn nur deſſen Intenſität plötzlich erhöht wird oder plötzlich abnimmt, oder auch wenn der Leiter B mit der Volta'ſchen Kette in Verbindung, jedoch von dem Leiter A entfernt iſt und einer dem andern plötzlich genähert wird, und eben ſo, wenn beide Leiter einander nahe ſtehen und plötzlich von einander entfernt werden; der elektriſche Strom in B erregt bei der Annäherung an A in letzterem einen Strom von entgegengeſetzter, bei der Entfernung einen Strom von gleichlaufender Richtung. Im Allgemeinen kann man ſagen, daß jede Aenderung der elektrodynamiſchen Wirkung des Leiters B auf A einen momentanen elektriſchen Strom in A zur Folge hat; die Steigerung dieſer Action einen Strom, der den Strom in B abſtößt, die Verringerung einen Strom, der den in B vorhandenen anzieht. Man nennt den in A entſtehenden Strom einen ſecundären oder inducirten, auch Nebenſtrom; den in B vorhandenen den primären oder inducirenden, auch Hauptſtrom. In einem zu einer Spirale gewundenen Drahte wirket ein Strom der einen Spirale auf die nächſtfolgenden und erzeugt in denſelben einen ſecundären Strom ſo, daß alſo Strom und Nebenſtrom in einem und demſelben Drahte fließen und zwar in entgegengeſetzter Richtung beim Eintreten oder Zunehmen, in gleicher, beim Aufhören oder Abnehmen des Hauptſtromes. Dove nennt dieſe Art ſecundärer Ströme Gegenſtröme.

Man macht dieſe Grundverſuche am evidenteſten mittelſt zweier multiplicirenden Drahtgewinde, die man auf den Rand zweier runden

Scheiben wickelt. Man verbindet eines der Drahtgewinde mit dem Galvanometer, das andere nach Erforderniß mit der Volta'ſchen Kette, und legt entweder die Scheiben auf einander, oder man nähert raſch eine der andern, oder man entfernt eine von der andern, und beobachtet die Anzeigen der ſecundären Ströme am Galvanometer.

171. Nach dieſen Thatſachen läßt ſich mit Grund erwarten, daß die Exiſtenz der ſecundären elektriſchen Ströme ſich auch durch andere Wirkungen, als: Zuckungen an Froſchſchenkeln, Geſchmack auf der Zunge, Lichterſcheinung vor dem Auge, Funken, Magnetiſirung einer Stahlnadel u. dgl. kund geben werde. Dieß iſt auch durchgehends der Fall, ja der ſecundäre Strom kann ſogar, wenn gleich der primäre nur von einem einzigen Volta'ſchen Elemente herrührt, ſehr ſtarke Stöße hervorbringen.

Wickelt man auf einen einige Zoll langen, etwa 1 Zoll dicken Holzcylinder 4—5 Lagen eines $^3/_4$—1 Lin. dicken, mit Seide beſponnenen Kupferdrahtes und darüber viele Lagen eines feinen Drahtes, deſſen Windungen gleichfalls durch Seide von einander iſolirend getrennt ſind, bringt man an den feinen Drahtenden metallene Cylinder als Handhaben an, und läßt man durch den dicken Draht den Strom eines Volta'ſchen Elementes, jedoch mit raſch auf einander folgenden Unterbrechungen, gehen, die man hervorbringt, wenn man in die Kette einen Unterbrecher (164) einſchaltet, zu welchem Behufe auch mit Vortheil ein rotirender Ritſchie'ſcher Elektromagnet dienen kann, der nicht erſt bewegt zu werden braucht; ſo fühlt man, wenn man die Metallcylinder mit naſſen Händen faßt, heftige Zuckungen, und ſieht, wenn man die feinen Drahtenden mit einander in Berührung bringt und trennt, zwiſchen denſelben helle Funken. Entladet man ein Volta'ſches Element mittelſt eines auf einen Holzcylinder gewundenen, nicht zu dünnen, mit einem Seidenüberzuge bekleideten Drahtes von großer Länge, ſo gewahrt man bei der Unterbrechung der Schließung einen viel ſtärkeren Funken, als ihn das Element mit einem kurzen Schließungsleiter auf die gewöhnliche Art entladen gibt. Verbindet man noch mit den Drahtenden Metallcylinder, die man mit den Händen faßt, ſo daß man auch nach der Unterbrechung des Schließungskreiſes des Volta'ſchen Elementes mit dem Drahtgewinde einen geſchloſſenen Leiter bildet; ſo empfindet man bei jeder Trennung der Volta'ſchen Kette eine Erſchütterung. Die bedeutende phyſiologiſche Wirkung des in einem langen Drahtgewinde entſtehenden ſecundären Stromes iſt eine Folge des Aufeinanderwirkens der einzelnen Windungen und des größeren Leitungswiderſtandes im Drahte. Will man durch den ſecundären Strom eine Stahlnadel magnetiſch machen, ſo darf man nicht vergeſſen, daß die Wirkungen beim Schließen und Oeffnen der primären Kette einander entgegengeſetzt ſind und einander daher ganz oder zum Theil tilgen. Es muß alſo die Nadel ſich in der dem ſecundären Leiter entſprechenden Schraube ſchon befinden, ehe die primäre Kette geſchloſſen wird und vor Oeffnung letzterer entfernt werden, oder man muß dieſelbe nach Schließung der primären Kette in erwähnte Schraube bringen und nach Oeffnung der Kette unterſuchen.

172. Der elektriſche Strom einer Leidnerflaſche erregt in geſchloſſenen Leitern, die dem Schließungsdrahte nahe ſtehen, gleichfalls inducirte Ströme, deren Beſchaffenheit von Rieß unterſucht worden iſt. Dieſer Gelehrte zeigte durch ſorgfältige Verſuche (Magnetiſirung

von Stahlnadeln, wie auch Erzeugung von Figuren auf einer Harzfläche betreffend), daß der ſecundäre Strom ſtets eine mit der des Hauptſtromes gleichlaufende Richtung habe. Aus der Erwärmung eines in ein Luftthermometer eingeſchloſſenen Platindrahtes konnte auf die Menge der ſtrömenden Elektricität und auf die Schnelligkeit der Entladung geſchloſſen werden; es ergab ſich, daß die Elektricitätsmenge im Nebendrahte jener im Hauptdrahte und der wirkſamen Länge dieſes Drahtes direct, dem Abſtande beider Drähte verkehrt proportionirt iſt und in einer der Dauer der Hauptentladung proportionirten Zeit circulirt, übrigens aber nicht von der Leitungsfähigkeit des Nebendrahtes abhängt. Der Nebendraht ſelbſt wirkt auf die Entladung in dem Hauptdrahte zurück; er verändert zwar nicht die entladene Elektricitätsmenge, wohl aber die Dauer der Entladung, welche er in dem Maße verzögert, als die Vollkommenheit der Leitung in ihm ſelbſt jener im Hauptdrahte nachſteht; dieſe Verzögerung nimmt bei Vergrößerung der Länge der Schließung des Nebendrahtes bis zu einem Maximum zu, welches um ſo größer iſt und erſt bei einer um ſo größeren Länge des bloß ſchließenden Theiles des Nebendrahtes erreicht wird, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Bei noch weiter fortgeſetzter Verlängerung des ſchließenden Theiles des Nebendrahtes nimmt deſſen Einfluß auf den Strom im Hauptdrahte wieder ab. Es läßt ſich die Wirkung aus der Annahme begreifen, daß die Entladung der Batterie eine Folge partieller Entladungen iſt, deren jede ihren Nebenſtrom erzeugt, der wieder auf den Hauptſtrom reagirt und mehr oder weniger in die nächſte partielle Entladung eingreift. Befinden ſich zwei Nebendrähte in der Nähe des Hauptdrahtes, ſo iſt der Strom in jedem ſchwächer, als wenn der andere nicht vorhanden wäre; iſt ſtatt des einen Nebendrahtes eine Metallplatte vorhanden, ſo ſteht die Stärke des Stromes im Nebendrahte mit der Dicke der Platte in verkehrtem Verhältniſſe: wird eine ſehr dicke Metallplatte oder irgend eine Platte aus einem iſolirenden Stoffe zwiſchen den Haupt- und Nebenſtrom eingeſchaltet, ſo findet kein merklicher Einfluß auf den Nebenſtrom Statt. Ein Theil des Schließungsdrahtes einer Batterie übt auf einen andern Theil dieſes Drahtes keine Induction aus. Bei der Magnetiſirung einer Nadel durch den von Maſchinelektricität erregten Nebenſtrom ſtellen ſich ähnliche Anomalien ein, wie bei der Magnetiſirung durch den Hauptſtrom (109), nur daß hier nebſt der Länge der Nebenſchließung auch noch der Umſtand, ob ſie irgendwo unterbrochen iſt, ſo daß ein Funke überſpringen muß oder nicht, ferner die Dichte der Ladung der Batterie, die Länge der Hauptſchließung und noch andere Umſtände in das Spiel treten, deren Erörterung noch weitere Unterſuchungen verlangt. (Ueber dieſe Gegenſtände ſiehe Pogg. Ann 47. 55; 49. 393; 50. 1; 51. 177 u. 351; 56. 251; 60. 70, 235.)

173 Dem Entdecker der Induction elektriſcher Ströme konnte die Vermuthung nicht entgehen, daß, ſo wie ein Magnet bei den Erſcheinungen, die auf der Anziehung und Abſtoßung elektriſcher Ströme

beruhen, einem Syſteme paralleler elektriſcher Ströme analog wirkt, er ſich auch bezüglich der Induction auf ähnliche Weiſe verhalten werde. Die Erfahrung beſtätigte dieſe Uebereinſtimmung auf das Vollkommenſte, und es laſſen ſich daher alle inducirten Effecte der Magnete mit Zugrundelegung der Ampère'ſchen Vorſtellungsweiſe (169) nach dem Fundamentalgeſetze der Induction elektriſcher Ströme vorherſagen. Doch kann dieß keineswegs als ein entſcheidender Grund für die Richtigkeit der Ampère'ſchen Hypotheſe gelten; denn es folgen ſämmtliche Phänomene eben ſo einfach aus anderen Annahmen. Uebrigens iſt es gleichviel, ob ein Magnet gegen einen geſchloſſenen Leiter oder ein ſolcher Leiter gegen den Magnet bewegt wird, und ob der Magnetismus ein bleibender oder ein erſt durch die Action eines Magnetes temporär hervorgerufener iſt. Immer wird in dem Leiter ein elektriſcher Strom erzeugt, es wäre denn der beſondere Fall vorhanden, daß die beiden Pole des Magnetes, die man hier als die Mittelpuncte einander entgegengeſetzter Actionen betrachten darf, gleichen Antheil an der Strombildung nehmen und daher die reſultirende Action = 0 zu ſetzen iſt. Der ſo entſtandene magneto-elektriſche Strom gibt ſeine Anweſenheit und Richtung am Galvanometer zu erkennen, wirkt auf das Froſchpräparat, auf die Zunge, gibt Funken und kann durch zweckmäßige Vorrichtungen ſo geſteigert werden, daß er mit jenem einer kräftigen Volta'ſchen Kette eine Vergleichung aushält.

Um die Grundverſuche der Erzeugung elektriſcher Ströme durch bewegten Magnetismus zu machen, dient am beſten ein hohler 1 — 2 Zoll langer und 1 Zoll weiter Cylinder von Holz, mit iſolirtem Kupferdrahte bewickelt, in deſſen Höhlung ſich ein Magnetſtab einſchieben läßt. Verbindet man die Enden des Drahtgewindes mit einem Galvanometer und ſchiebt den Magnetſtab bis zu ſeiner Mitte in den Cylinder, wobei jedoch das Galvanometer ſo weit entfernt ſtehen muß, daß der Magnetſtab auf die Nadel desſelben nicht merklich einwirkt; ſo zeigt die Magnetnadel einen elektriſchen Strom an, der, wenn der eingeſchobene Pol des Stabes der Nordpol war, im Drahtgewinde eine ſolche Richtung hat, daß er an einem Stabe aus weichem Eiſen, wenn man ihn in die Höhlung des Cylinders einſchöbe, an dem nach der Richtung der Bewegung des Magnetes reichenden Ende einen Südpol hervorbringen würde. Dieſer Strom iſt von nur ſehr kurzer Dauer; denn wenn der Magnetſtab in der Höhlung des Drahtgewindes ruhig bleibt, kommt die Galvanometernadel nach den gewöhnlichen Schwingungen zur Ruhe. Zieht man jetzt den Magnetſtab vorwärts oder rückwärts aus dem Drahtgewinde heraus, ſo entſteht wieder ein momentaner Strom, aber mit dem vorhergehenden verglichen, nach entgegengeſetzter Richtung. Nimmt man zu dem Gewinde einen etwa $^1/_2$ Lin. dicken und nicht ſehr langen Draht, der auf dem Cylinder nur einige Lagen bildet, und bringt man an dem einen Drahtende ein amalgamirtes Kupferſcheibchen an, gegen deſſen Fläche das andere zugeſpitzte Drahtende in einem Bogen federnd ſich ſtemmt und bei einer mäßigen Erſchütterung davon in mehreren Vibrationen abſpringt und wieder hinzugeht; ſo zeigt ſich bei der Einführung wie auch bei dem Herausziehen des Magnetſtabes zwiſchen dem Plättchen und der Spitze ein heller Funke. Enthält das Drahtgewinde feineren Draht in vielen über einander liegenden Windun-

gen, ſo empfindet man, wenn man Metallcylinder, an welchen die Enden des Drahtes befeſtigt ſind, mit naſſen Händen hält, bei jeder der genannten Bewegungen des Magnetſtabes eine Erſchütterung, und mit Jodkaliumlöſung befeuchtetes Papier zeigt Spuren der Zerſetzung des Salzes. Dieſelben Erſcheinungen erhält man auch, wenn man in die Höhlung des Cylinders einen Stab aus weichem Eiſen legt und dieſen mit dem Pole eines ſtarken Magnetes berührt, oder den Pol davon losreißt, oder wenn man den Draht auf den Anker eines Hufeiſenmagnetes wickelt und wie vorhin verfährt, auf welche Art ſich der Funke ſehr leicht hervorbringen läßt.

174. Die Geſetze, nach welchen ſich die Stärke des durch magneto-elektriſche Induction entſtehenden Stromes richtet, ſind von Lenz unterſucht worden. Sie ſind denen ganz analog, welche im vorhergehenden Kapitel (163) für die Stärke des Magnetismus gegeben wurden, den ein elektriſcher Strom dem weichen Eiſen ertheilt. Es iſt alſo die elektro-magnetiſche Kraft einer inducirten Spirale der Summe der elektromotoriſchen Kräfte der einzelnen Windungen gleich, mithin unter übrigens gleichen Umſtänden der Anzahl der Windungen nahe proportional, von der Weite der Windungen faſt und von der Dicke des Drahtes gänzlich unabhängig. Die weiteren Windungen ſind gegen die engeren etwas im Nachtheil. (Pogg. Ann. 34. 385; 47. 266.)

Da die Einwirkung eines inducirten Stromes auf die Galvanometernadel eine momentane iſt, ſo kann die Kraft des Stromes nur nach der Größe des erſten Ausſchlages der Nadel beurtheilt werden. Es verhält ſich dieſe Kraft, bei einerlei anfänglicher Stellung der Nadel gegen das Galvanometergewinde und bei gleicher Wirkung der erdmagnetiſchen Kraft auf die Nadel, wie die Geſchwindigkeit, welche die Nadel durch den von dem inducirten Strome ausgehenden Impuls empfängt. Weil die Nadel, einem Pendel ähnlich, aus ihrer größten Elongation durch die erdmagnetiſche Kraft gegen ihre Ruhelage zurückgeführt, mit eben dieſer Geſchwindigkeit in genannte Lage eintritt, welche Geſchwindigkeit, wie ſich leicht beweiſen läßt, der Sehne des von dem Endpuncte der Nadel beſchriebenen Bogen, mithin dem Sinus des halben Ausſchlagwinkels proportionirt iſt; ſo dient dieſer Sinus als Maß der im Galvanometerdrahte im Augenblicke der Induction vorhandenen Stromkraft.

175. Um kräftige magneto-elektriſche Ströme auf eine bequeme Weiſe zu erzeugen, bedient man ſich einer beſonderen Vorrichtung, der ſogenannten magneto-elektriſchen Rotationsmaſchine, welche als eine Elektricitätsquelle eigener Art, der Elektriſirmaſchine und Volta'ſchen Batterie an die Seite geſtellt werden darf. Die erſte Maſchine dieſer Art wurde 1832 von Pixii conſtruirt; ſie hat nachher von Saxton, Clarke, v. Ettingshauſen, Petřina eine zweckmäßigere Einrichtung erhalten. Sie beſteht im Weſentlichen aus einer kräftigen Magnetbatterie und aus einem in deren Nähe befindlichen Anker von ſehr weichem Eiſen, deſſen Schenkel mit mehreren Lagen iſolirten Kupferdrahtes umwunden ſind. Eines dieſer beiden Stücke, entweder der Magnet oder der Anker, hier Inductor genannt, wird mittelſt einer Schnurmaſchine in rotirende Bewegung

verſetzt, ſo daß die Pole des Magnetes und die Inductorſchenkel fortwährend, und zwar abwechſelnd in zwei entgegengeſetzten Lagen einander gegenüber zu ſtehen kommen und ſich wieder trennen. Von einer ſolchen Trennung der Pole und Inductorſchenkel bis zur nächſten Oppoſition derſelben wird in dem geſchloſſenen Drahtgewinde jedes Schenkels ein continuirlicher Strom von einerlei Richtung, jedoch von veränderlicher, nämlich bis zu einem Maximum wachſender und hierauf wieder abnehmender Intenſität inducirt; hierauf folgt bis zur ferneren Oppoſition ein entgegengeſetzter Strom, und ſo wechſeln hinter einander die Richtungen der Ströme. Man kann dieſelben entweder, wie ſie ſich ergeben, alſo mit wechſelnden Richtungen, durch beliebige Leiter gehen laſſen, oder ſie mittelſt eines Commutators auf einerlei Richtung zurückführen, oder auch nur einen der beiden Ströme benützen, indem man veranſtaltet, daß in dem Augenblicke, in welchem der entgegengeſetzte Strom eintreten ſollte, die Schließung der Drahtgewinde unterbrochen wird. Die Mittel, durch welche der eine oder der andere dieſer Zwecke erfüllt werden kann, ſind mannigfaltig, und durch ſelbe unterſcheiden ſich vornehmlich die von verſchiedenen Phyſikern angegebenen Einrichtungen ſolcher Apparate. Um einen gehörigen Effect zu erzielen, muß man auf den Leitungswiderſtand Rückſicht nehmen, den der magneto-elektriſche Strom in dem ſeiner Einwirkung unterworfenen Körper zu überwinden hat. Iſt dieſer Widerſtand gering, ſo gibt man dem Inductor nur wenige Drahtlagen, und wählt einen dickeren Draht; auch vereiniget man jene Drahtenden beider Schenkel mit einander, in welchen der Strom einerlei Richtung hat. Die Wirkungen des Stromes eines ſolchen Inductors ſind denen einer einfachen Volta'ſchen Kette mit größerer Oberfläche analog. Steht aber dem Strome ein bedeutender Widerſtand entgegen, z. B. ſoll dieſer Strom durch den menſchlichen Körper geleitet werden, oder eine chemiſche Zerlegung bewirken, ſo gibt man dem Inductor viele Windungen dünnen Drahtes, und verbindet die Gewinde der Schenkel ſo, daß ſie ein fortlaufendes Ganzes bilden. Man kann hiedurch die Wirkungen einer vielplattigen Volta'ſchen Säule nachahmen. Hieraus leuchtet die Nothwendigkeit ein, die magneto-elektriſche Rotationsmaſchine wenigſtens mit zwei verſchiedenen Inductoren auszuſtatten, deren einer mit dickerem, der andere mit dünnerem Drahte verſehen iſt.

Fig. 255 ſtellt eine magneto-elektriſche Rotationsmaſchine von der durch Ettingshauſen angegebenen Einrichtung vor, bei welcher der Inductor der rotirende Theil iſt. Er bewegt ſich um eine verticale Axe, und ſeine aufwärts gekehrten Schenkel gehen dabei unter den Schenkeln der auf einem Tiſchchen mit Stellſchrauben horizontal liegenden Magnetbatterie in moglichſter Nähe vorüber. Die Geſtalt des Inductors mit dickem Drahte zeigt Fig. 256, die des andern mit dünnem Drahte bewickelten Fig. 257. Die Einrichtung des Apparates geſtattet dieſe Inductoren leicht gegen einander umzutauſchen. Die Inductorſpindel a b iſt von Eiſen, ſie trägt eine eiſerne Platte c d, auf welcher in gleichen Abſtänden von der Mitte zwei maſſive Cylinder e, f von ſehr weichem Eiſen ſtehen, über welche die Drahtge-

winde gewickelt ſind, der dickere Draht unmittelbar auf das Eiſen, der dünnere auf hölzerne Spulen; metallene Spulen ſind nicht zu empfehlen, weil ſie der Energie der Wirkung Eintrag thun. An der Spindel a b ſteckt zunächſt unter der Platte c d ein hohler Eiſency-linder g, der durch einen untergeſchobenen Holzcylinder von der Spindel iſolirend getrennt iſt. Unter dieſem befindet ſich in der Spindel ein zweiter, der Hauptform nach cylindriſcher Eiſenkörper h. Er iſt mit der Spindel und daher auch mit der Platte c d in leitender Verbindung. An ſeinem unteren Rande iſt ein Ausſchnitt angebracht, welcher die Hälfte des Umfanges hinwegnimmt; an ſeinem obern Rande befinden ſich einander gegenüber zwei grubenartige Vertiefungen. Ein (einfaches oder doppeltes) Drahtende der Gewinde iſt an die Platte c d, das andere an das Eiſenſtück g geklemmt. Zur Schließung der Kette und Leitung des Stromes ſtehen zu beiden Seiten der Inductorſpindel meſſingene Säulen m, n, deren jede mehrere Löcher zur Aufnahme von Metallfedern, die an g und h greifen ſollen, enthält. Stecken zwei g und h berührende Federn an derſelben Säule, ſo ſind die Enden der Drahtgewinde in leitender Verbindung; werden die Federn an beide Säulen vertheilt, ſo muß man die Säulen zur Schließung der Kette noch durch einen Leitungsdraht, in den die der Einwirkung des Stromes zu unterziehenden Körper eingeſchaltet werden, in Verbindung ſetzen. Iſt die an h greifende Feder in einerlei Höhe mit den grubenartigen Vertiefungen geſtellt, ſo findet, ſo oft ſie darüber weggleitet, eine momentane Unterbrechung der Kette Statt; entſpricht die Stellung der Feder dem Ausſchnitte an h, ſo iſt die Kette während eines halben Inductorumlaufes unterbrochen. Hiedurch gelingt es, bloß Ströme von einerlei Richtung durch den Schließungsleiter gehen zu laſſen, wie es bei der Darſtellung der elektromagnetiſchen Phänomene, bei chemiſchen Zerſetzungen u. dgl. nöthig iſt. Die erſteren Erſcheinungen, ſo wie auch Glühphänomene und Funken, bringt man mit dem Inductor mit dickem Drahte hervor; letztere, wie auch das Glühen der Kohle und phyſiologiſche Wirkungen erhält man mittelſt des Inductors mit dünnem Drahte. Um heftige Erſchütterungen ſelbſt mit einer einzelnen ſchwachen Magnetlamelle hervorzubringen, wendet man drei Federn an, zwei ſtecken an einer Säule und treffen das Stück g, wie auch die Vertiefungen auf h; die dritte an der andern Säule befindliche Feder greift an den mittleren nicht unterbrochenen Theil von h. Zwei Conductoren, deren jeder mit einer der Säulen metalliſch verbunden iſt, werden mit den Händen gefaßt. Durch die zwei Federn an derſelben Säule iſt die Kette geſchloſſen, ausgenommen, wenn die Feder an h über die Vertiefungen geht; in dieſem Augenblicke findet eine Unterbrechung Statt, und es entſteht ein inducirter Strom zweiter Ordnung, welcher mit namhafter Stärke durch den mittelſt der andern zwei Federn mit der Drahtſpirale in leitender Verbindung befindlichen Körper geht. (Pogg. Ann 27. 390, 398; 39. 401. Gehler's Wörterbuch, Artikel Magneto-Elektricität. Bericht über die Verſammlung deutſcher Naturforſcher und Aerzte in Prag. Prag, 1838.)

Statt eines permanenten Magnetes kann auch ein Elektromagnet angewendet werden. In dieſem Falle vertritt der durch den Wechſel der Stromrichtung bewirkte Polwechſel des Elektromagnetes die Rotation des Magnetes oder des Inductors. Der hiezu dienende Gyrotrop kann ein doppelter ſeyn, und die zweite Hälfte deſſelben dazu dienen, die entgegengeſetzten ſecundären Ströme, die der Inductor liefert, auf einerlei Richtung zurückzuführen. Einen Apparat dieſer Art hat zuerſt Pohl angegeben. (Pogg. Ann. 34. 185 u. 500).

Endlich muß bemerkt werden, daß die Wirkungen des in 171 Anm. beſchriebenen Apparates bedeutend erhöht werden, wenn man in die Höhlung der Drahtſpirale weiches Eiſen, am beſten ein Bündel dünner Eiſenſtäbe oder Drähte legt. Das Eiſen nimmt hier bei jedem Schließen der galvaniſchen Kette Magnetismus an, und verliert ihn bei jedem Oeffnen der Kette wieder, und wirkt dadurch ebenfalls inducirend auf das äußere Drahtgewinde. Hiebei zeigt ſich die auffallende Erſcheinung, daß zwei ganz gleiche Drahtſpiralen, die mit verſchiedenem Eiſenkern verſehen auf das Galvanometer ganz gleich wirken, ſich in Abſicht auf Erſchütterung nicht gleich verhalten. Dove (Pogg. Ann. 49. 72) ſchreibt dieß mit Recht der verſchiedenen Geſchwindigkeit zu, mit welcher hier gleiche Elektricitätsmengen in Bewegung treten.

176. Auch der Erdmagnetismus inducirt elektriſche Ströme in bewegten Leitern. Verbindet man die Enden eines um einen großen Holzrahmen geführten Drahtes mit einem empfindlichen Galvanometer, und bewegt man den Rahmen, z. B. indem man ihn dem magnetiſchen Meridian parallel hält und raſch um eine horizontale Seite wendet; ſo gibt der Ausſchlag der Galvanometernadel das Auftreten eines elektriſchen Stromes zu erkennen. Man kann dieſen Ausſchlag durch mehrere der Schwingungen der Nadel entſprechende entgegengeſetzte Bewegungen des Rahmens bedeutend ſteigern. Stärkere Wirkungen erhält man, wenn man eine Spirale anwendet, die um einen Stab aus weichem Eiſen gewickelt iſt, und den Stab, der anfänglich die Richtung der magnetiſchen Neigung hatte, raſch umkehrt; da hilft der im Eiſen durch terreſtriſchen Einfluß erregte Magnetismus mit.

Dreht man einen Kupferring um eine horizontale, im magnetiſchen Meridian liegende Axe, und ſtellt in dem Centrum des Ringes eine Bouſſole auf, ſo zeigt ſich eine Ablenkung der Nadel in Folge des im Kupferringe circulirenden, durch den Erdmagnetismus inducirten elektriſchen Stromes. Die ablenkende Stromkraft rührt in dieſem Falle bloß von der verticalen erdmagnetiſchen Kraft her; die Größe der Ablenkung wird durch die horizontale Erdkraft beſtimmt. Kennt man nun noch die Geſchwindigkeit der Drehung, ſo läßt ſich das Verhältniß der genannten zwei Componenten des Erdmagnetismus und daraus der Betrag der magnetiſchen Inclination berechnen. Hierauf gründet ſich Weber's Inductions-Inclinatorium. (Vergleiche hiemit 44. Reſultate des magn. Vereins für 1837. S. 81. Auch Pogg. Ann. 43. 493.)

177. Die inducirende Kraft bewegter Magnete gibt zu ſehr intereſſanten Erſcheinungen Veranlaſſung. Man denke ſich zwei beweglich aufgehängte Magnetſtäbe oder Magnetnadeln ſo weit von einander entfernt, das ſie auf einander nicht einwirken können, und jede Nadel nach Art eines Galvanometers mit einem Drahtgewinde umgeben. Stehen dieſe Drahtgewinde mit einander in leitender Verbindung, und wird eine der Nadeln bewegt, ſo geräth auch die andere in Bewegung. Es iſt dieß eine Folge des durch magnetiſche Induction in dem Drahtgewinde entſtandenen elektriſchen Stromes. Zum Behufe der elektriſchen Telegraphie läßt ſich, wie ſchon Gauß gezeigt hat, an die Stelle des Volta'ſchen Apparates mit Vortheil ein

magneto-elektriſcher Inductionsapparat ſetzen. Steinheil hat die Hilfsmittel, welche die Praxis aus derlei wiſſenſchaftlichen Principien ſchöpfen kann, durch Conſtruction eines ungemein ſinnreichen magneto-elektriſchen Telegraphen an den Tag gelegt. (Ueber Telegraphie, insbeſondere durch galvaniſche Kräfte von Steinheil. München, 1838.)

Merkwürdig iſt die Wirkung raſch auf einander folgender entgegengeſetzten Ströme auf eine Magnetnadel. Verbindet man nämlich die beiden Enden des Drahtgewindes eines ohne Commutator oder Stromunterbrechung rotirenden Inductors einer magneto-elektriſchen Maſchine mit einem Multiplicator, ſo ſollte man glauben, es könne keine Ablenkung der Magnetnadel eintreten, weil gleich ſtarke, einander entgegengeſetzte Ströme ſchnell auf einander folgen; allein die Erfahrung lehrt, daß die Nadel um 90° von ihrer natürlichen Richtung abgelenkt wird, und zwar immer nach der Seite, nach welcher ſie ſchon vor der Einwirkung der elektr. Strömung einen kleinen Ausſchlag hatte, ohne daß darauf die eigentliche Richtung der Rotation oder die Geſchwindigkeit derſelben einen Einfluß ausübte. Uebrigens ſchließt ſich dieſes Verhalten gut an die bekannten Geſetze des Elektromagnetismus an; denn ein elektriſcher Strom magnetiſirt eine Nadel immer ſo, daß ſie dadurch eine Richtung anzunehmen ſucht, wie jene iſt, nach welcher ſie derſelbe Strom ablenkt; von zwei auf einander folgenden Strömen wird darum durch einen bereits vor dem Eintritte derſelben vorhandenen Ausſchlag die Wirkung desjenigen verſtärkt, der dieſelbe Ablenkung hervorzubringen ſucht. (Poggendorff in deſſen Ann. 45. 353.)

178. Verſetzt man eine Magnetnadel, um welche ein multiplicirendes Drahtgewinde gelegt iſt, in Schwingungen, ſo nehmen die Amplituden derſelben viel raſcher ab, wenn die Enden der Drahtgewindes mit einander gut leitend verbunden ſind, als wenn dieß nicht Statt findet. In dem erſten Falle inducirt nämlich die Nadel bei jeder Bewegung in dem geſchloſſenen Leiter einen elektriſchen Strom, der die Nadel nach der ihrer Bewegung entgegengeſetzten Richtung abzulenken ſucht. Dieß geſchieht ſchon, wenn eine Magnetnadel über einer leitenden Platte oſcillirt, was Arago im Jahre 1825 entdeckte, ohne die eigentliche Urſache des Phänomens zu ahnen. Er fand, daß ſich der Schwingungsbogen einer horizontal ſchwingenden Magnetnadel über einer darunter befindlichen Kupferſcheibe ſehr ſchnell vermindert, und die Nadel viel eher zur Ruhe gebracht wird, als in Ermanglung einer ſolchen Unterlage. Aehnliches erfolgte, wenn die Nadel über einem anderen Metalle, ja in geringem Maße ſogar, wenn ſie über Glas, Waſſer, Holz oſcillirte. Gauß hat hievon eine nützliche Anwendung zur Dämpfung der Schwingungen des Magnetſtabes am Magnetometer gemacht.

Man muß ſich jedoch hüten, der inducirenden Action allein die Hemmung der Bewegung der Magnetnadel beizumeſſen. Die Verminderung des Schwingungsbogens einer unter dem Einfluſſe eines Metalles oſcillirenden Magnetnadel rührt theils vom Luftwiderſtande, theils von jenem Einfluſſe her. Um beide Wirkungen von einander zu ſondern, ſey n die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel in Gegenwart

des einwirkenden Körpers machen muß, damit ihr Schwingungsbogen um m Grade abnimmt, N dieſelbe Größe, wenn die Nadel ohne Einwirkung jenes Körpers oſcillirt und die Abnahme des Schwingungsbogens bloß vom Widerſtande des Mittels herrührt. Nimmt man an, daß die Verminderung des Schwingungsbogens mit der Anzahl der Schwingungen gleichförmig fortſchreitet, ſo würde der Schwingungsbogen durch den alleinigen Einfluß des Mittels während n Schwingungen um $\frac{m\,n}{N}$ abgenommen haben, mithin iſt der alleinigen Einwirkung des Metalles auf die Magnetnadel während n Schwingungen bloß die Verminderung des Schwingungsbogens um $m - \frac{m\,n}{N} = m\left(\frac{N-n}{N}\right)$ zuzuſchreiben; in Folge dieſer Einwirkung ohne Beihilfe des Mittels hätte alſo der Schwingungsbogen erſt nach $\frac{N\,n}{N-n}$ Schwingungen (gefunden aus der Proportion $m\left(\frac{N-n}{N}\right) : m = n : x$) um die Größe m abgenommen.

Dieſer verzögernde Einfluß der durch die Bewegung eines Magnetes in umgebenden Leitern erregten elektriſchen Ströme auf dieſe Bewegung ſelbſt erklärt nun, warum die Erwartungen, zu welchen die große Tragkraft der Elektromagnete bezüglich der Anwendung des Elektromagnetismus zum Maſchinenbetriebe Veranlaſſung gibt, in der Praxis ſich nicht verwirklichen. (Vergl. 162 Anm.)

Chriſtie hat zuerſt bemerkt, daß directes Sonnenlicht die Schwingungsbögen einer oſcillirenden Magnetnadel, ſo wie eine nahe Kupferſcheibe vermindere, und dieſes einem magnetiſchen Einfluſſe des Lichtes zugeſchrieben. Allein dieſe Wirkung iſt wenigſtens nicht ganz magnetiſcher Natur, und wird wohl größtentheils bloß durch aufſteigende Luftſtröme bewirkt. (Zeitſchr. 3. 96 u. 157: 6. 325.)

179. Daß durch Aenderung der Stellung eines Magnetes hinſichtlich einer Metallſcheibe bewegende Kräfte geweckt werden, die früher nicht da waren, zeigt ſich ſogleich, wenn man eine Scheibe (am beſten aus Kupfer) mittelſt eines feinen Fadens ſehr beweglich aufhängt, und unter derſelben einen Hufeiſenmagnet in verticaler Stellung in ſchnelle rotirende Bewegung ſetzt. Da kommt alſobald auch die Kupferſcheibe nach derſelben Richtung in Bewegung. Es kann auch umgekehrt ein beweglicher Körper einen Magnet in Bewegung ſetzen; dieſes iſt der Fall an einer Magnetnadel, die ſich frei ſchwebend über einer ſchnell rotirenden Kupferſcheibe befindet. Bei einer mäßigen Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe wird der Magnet nach der Richtung der Rotation abgelenkt, und verharrt unter einem gewiſſen Ablenkungswinkel, ſo lange die Geſchwindigkeit der Scheibe unverändert bleibt; dieſe Ablenkung wird aber deſto größer, je ſchneller man die Scheibe dreht, und endlich fängt der Magnet ſelbſt zu rotiren an. Man kann ſogar die Einwirkung der Scheibe auf den Magnet durch die Größe des Ablenkungswinkels meſſen.

Die Geſchwindigkeit der Rotation iſt nicht das einzige Element, wovon die Größe der Einwirkung eines bewegten Körpers auf einen Magnet abhängt. Ein ſtarker Magnet wird durch dieſelbe Scheibe ſtärker ab-

gelenkt, als ein ſchwacher; aber zur Erzeugung einer großen Einwirkung iſt ein gewiſſes Verhältniß in der Größe des Magnetes und der Kupferſcheibe nothwendig. Ein ſehr kleiner Magnet wird durch eine ſehr große Scheibe ſo wenig merklich afficirt, als ein großer Magnet durch eine ſehr kleine Scheibe. Je weiter der Magnet von der Scheibe entfernt iſt, deſto geringer iſt ihre Einwirkung, ſie nimmt aber in einem größeren Verhältniſſe ab, als die Entfernung des Magnetes von der Scheibe wächſt. Körper, die zwiſchen den Magnet und die Kupferſcheibe gebracht werden, ſchwächen die Wirkung, wenn ſie ſelbſt eine ſolche beim Rotiren hervorzubringen vermögen. Eine Eiſenplatte hebt dieſe Wirkung ganz, eine Kupferplatte zum Theil auf, Glas, Holz, Papier ꝛc. laſſen ſie ungeſchwächt durch. Vorzüglich ſchwächend wirkt die Unterbrechung der Continuität der Metallmaſſe. Eine ſternförmig ausgeſchnittene Kupferſcheibe wirkt ohne Vergleich weniger, als eine maſſive; die Wirkung einer Scheibe kann man durch einen Schnitt ſehr verringern, doch kehrt ihre vorige Kraft wieder zurück, wenn man beide Stücke zuſammenlöthet. Ein ſpiralförmig gewundener Stab wirkt ſchwächer, als eine Scheibe von demſelben Durchmeſſer und von derſelben Maſſe. Kupfer in Pulverform wirkt ohne Vergleich ſchwächer, als in einer zuſammenhängenden Maſſe. Eine hart gehämmerte Platte wirkt ſtärker als eine ausgeglühte, doch ſoll eine Temperaturänderung der Platte ihre Wirkung nicht merklich ändern. Dieſelben Geſetze zeigen ſich in Betreff des Einfluſſes einer Kupferplatte auf eine oſcillirende Magnetnadel. Eine Magnetnadel, deren halber Schwingungsbogen ohne Einfluß eines nahen Körpers nach 108 Schwingungen von 18° auf 9° abnahm, verzögerte ſich in der Nähe einer 2 Lin. dicken Kupferſcheibe nach 7, in der Nähe einer 0.8 Lin. dicken nach 11 Schwingungen um eben ſo viel. Eine Platte, die den Ausſchlagswinkel eines Magnetes nach 8 Schwingungen um 10° verminderte, bewirkte daſſelbe erſt nach 10 Schwingungen, wenn ſie entzwei geſchnitten war und die beiden Hälften hart an einander lagen. Ein Magnet, deſſen Schwingungsbogen über einer Kupferplatte nach 160 Schwingungen von 20° auf 10° herabſank, brauchte dazu nur 64 Schw., wenn mittelſt eines elaſtiſchen Fadens ſeine Oſcillationen beſchleuniget wurden.

Arago empfiehlt, die Stärke eines Magnetes nach dem Gewichte zu ſchätzen, das man ihm anhängen muß, um ihn durch eine Scheibe, die mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit rotirt, um einen gewiſſen Winkel abzulenken.

180. Es iſt klar, daß die Ablenkung eines Magnetes durch eine rotirende Kuppferſcheibe von einer Kraft herrühren müſſe, die nach der Tangente der Scheibe wirkt. Dieſe iſt aber nicht die einzige, welche von einer ſolchen Scheibe ausgeht; ſondern es gibt deren noch zwei andere, wovon eine auf der Ebene der Scheibe ſenkrecht ſteht, die andere mit derſelben parallel iſt. Die erſtere wirkt auf jeden Pol eines Magnetes abſtoßend und zeigt ſich, wenn man einen Magnetſtab vertical an eine Wage hängt, ihn daſelbſt ins Gleichgewicht ſetzt und unter ihm eine Kupferſcheibe rotiren läßt; denn da wird alſogleich das Gleichgewicht geſtört und die Seite, wo der Magnet aufgehängt iſt, erſcheint leichter. Die mit der Ebene der Scheibe parallele Kraft wirkt in der Nähe des äußeren Umfanges der Scheibe und etwas innerhalb deſſelben vom Centrum gegen die Peripherie, hingegen über einen gewiſſen Kreis hinaus, wo ſie gleich Null iſt, von der Peripherie zum Centrum. Davon überzeugt man ſich mittelſt einer In-

clinationsnadel. Stellt man dieſe ſo über die Scheibe, daß ſie eine verticale Richtung annimmt, ſetzt dann die Scheibe in Bewegung; ſo wird ſie in der Nähe des Umfanges der Scheibe gleichſam vom Centrum abgeſtoßen. Weiter einwärts bleibt die Nadel vertical, und noch weiter einwärts wird ſie endlich vom Centrum gleichſam angezogen. Das Verhältniß dieſer drei Kräfte zu einander ändert ſich mit der Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe.

181. So ſehr man auch auf den erſten Blick erkennt, daß dieſe Erſcheinungen durch inducirende Wirkung der Magnete zu erklären ſeyen, ſo darf man ſich doch der Verpflichtung nicht entſchlagen, das wirkliche Daſeyn inducirter Ströme nach der den Phänomenen angemeſſenen Richtung nachzuweiſen. Zu dieſem Ende ſtelle man eine Kupferſcheibe M (Fig. 258), welche um die Axe a beweglich iſt, ſo zwiſchen die zwei Pole n und s eines Hufeiſenmagnetes, daß der Rand noch unter den Polebenen ſteht und ſowohl dieſer Rand (welcher zu dieſem Ende amalgamirt iſt) als auch die Axe mit einem Multiplicator verbunden, hierauf aber die Scheibe ſchnell gedreht wird. Da zeigt die Nadel des Multiplicators eine bleibende Ablenkung. Dasſelbe tritt in gleicher Ordnung und Stärke ein, wenn man die Scheibe ſo weit hebt, daß ihr Rand in die Ebene der Pole fällt, oder gar über dieſelbe hervorragt. Aendert man die Richtung der Rotation, ſo weicht auch die Nadel nach entgegengeſetzter Richtung aus. Dasſelbe erfolgt, wenn man die Pole des Magnetes verwechſelt, aber die Richtung der Rotation beibehalten wird. Auch wenn man nicht die genau zwiſchen den Polen befindliche Stelle des Randes, ſondern eine 50—60° davon abſtehende mit dem Multiplicator in Verbindung ſetzt, erfolgt eine Ablenkung; ſie wird aber immer ſchwächer, je weiter der Verbindungsdraht von der Polebene abweicht. Wenn man die Scheibe nur **einem** Magnetpole gegenüber ſtellt, treten dieſelben Wirkungen ein, nur in einem etwas geringeren Grade, und man kann aus der Richtung der Ablenkung der Nadel den Schluß ziehen, daß, wenn ſich die Scheibe horizontal und ſchraubenrecht dreht und der Nordpol eines Magnetes über derſelben ſteht, der erregte elektr. Strom vom Centrum der Scheibe beim Magnetpole vorbei, zum Umkreiſe derſelben geht, und in dem entfernt vom Pole liegenden Theile der Platte zurückkehrt. Fig. 259 ſtellt ſölche Ströme mittelſt der punctirten Linien dar.

Bei einer horizontalen, rechts gedrehten Kupferſcheibe b a c (Fig. 260), über welcher ſich eine horizontal ſchwebende Magnetnadel befindet, hat man es mit der gleichzeitigen Wirkung zweier Magnetpole n und s zu thun. Erſterer erzeugt in der ihm entſprechenden Scheibenhälfte einen Strom, der vom Centrum a zum Umkreiſe b, letzterer einen ſolchen, der vom Umkreiſe c nach a geht; mithin entſteht durch die vereinte Wirkung beider Pole ein Strom, der von c nach b gerichtet iſt. Fig. 261 ſtellt dieſe Ströme vor. Von dieſen hängt nun die tangentielle Ablenkung einer Magnetnadel durch eine rotirende Kupferſcheibe ab. Daß alle Wirkung aufhört, wenn keine Rotation mehr Statt findet, iſt klar; denn nun gibt es keinen ſecundären elektriſchen Strom mehr,

auch der große Einfluß der Continuität der Maſſe auf derlei Phänomene iſt leicht begreiflich. Die in einer rotirenden Kupferſcheibe erregten Ströme haben ihre Wirkungsmittelpuncte n und s zu beiden Seiten des wirkſamen Magnetpoles. Da die elektr. Vertheilung nothwendig da, wo ſie zu Ende geht, ſtärker ſeyn muß, als da, wo ſie gerade anfängt, weil jene mit der ganzen Summe der Kräfte wirkt, welche die Platte durch den Magnetpol erhalten hat; ſo hat die Reſultante aller Ströme eine ſchiefe Richtung gegen den Magnetpol, und der vertical aufwärts wirkende Theil dieſer Kraft muß den Magnetpol abſtoßen. Die Lage der Wirkungsmittelpuncte n und s richtet ſich natürlich nach der Lage der Projection des Magnetpoles auf der rotirenden Platte. Rückt dieſer Pol gegen das Centrum der Platte, ſo bewegen ſich auch n und s dahin und es wird nach Maßgabe dieſer Annäherung des Poles n an das Centrum der Platte die Vertheilung mehr oder weniger über dieſes Centrum hinausrücken. Da muß nun die Kraft der ſecundären Ströme den Magnetpol, wenn derſelbe nahe am Centrum liegt, zu demſelben hinziehen, liegt er aber nahe am Umfange, von demſelben abſtoßen. Was von einer Kupferſcheibe geſagt wurde, gilt auch von Scheiben aus anderen Metallen und guten Elektricitätsleitern, allein die Einwirkung ſchlechter Leiter, z. B. des Glaſes, Holzes und ſelbſt der Gaſe, iſt noch nicht mit voller Klarheit aus den bekannten Geſetzen der magneto-elektriſchen Vertheilung erklärbar. (Faraday in Pogg. Ann. 25. 120; Nobili in Zeitſchr. n. F. 1. 93; Pogg. Ann. 26. 401.)

182. Die merkwürdigſte unter den Erſcheinungen dieſer Art iſt unſtreitig die gleichfalls von Faraday entdeckte Erzeugung elektriſcher Ströme durch Einwirkung eines um ſeine Axe ſich drehenden Magnetes auf ſich ſelbſt. Bringt man nämlich ein Ende eines um ſeine Axe rotirenden Magnetſtabes und eine Stelle zwiſchen ſeinen Polen mit den Galvanometerdrähten in Verbindung; ſo gibt ſich ein elektriſcher Strom zu erkennen, der, wenn das Nordende des Stabes oben gedacht wird und der Stab ſich ſchraubenrecht dreht, von dem unterſuchten Ende (ſey es das nördliche oder ſüdliche) angefangen, durch den Galvanometerdraht zur genannten Stelle am Magnet zwiſchen den Polen und von da im Magnete zu jenem Ende zurückgeht.

Weber betrachtet dieſe Art der Stromerregung als einen beſonderen Fall der Induction, welchen Fall er unipolare Induction nennt. Um ſich davon einen Begriff zu machen, denke man ſich einen Magnetſtab gegen einen geſchloſſenen metalliſchen Ring ſo bewegt, daß jeder Pol des Magnetes eine in ſich zurückkehrende Bahn beſchreibt und dabei die Bahn eines Poles die Ringebene durchſchneidet, während die Bahn des andern Poles ganz außerhalb des Ringes bleibt; eine Bewegungsart, die nur möglich iſt, wenn man zugleich zuläßt, daß der Magnetſtab den Umfang des Ringes durchbrechen kann, ohne der metalliſchen Schließung des Ringes ſelbſt Eintrag zu thun. Hier wird der durch die Ringebene gehende Pol während des ganzen Verlaufes ſeiner Bewegung in dem Ringe einen elektriſchen Strom von einerlei Richtung induciren, der andere Pol aber zwei auf einander folgende Ströme von entgegengeſetzten Richtungen, deren Geſammteffect verſchwindet; die Sache wird ſich alſo gerade ſo verhalten, als wäre nur der magnetiſche Pol, welcher durch die Ringebene gegangen

iſt, vorhanden geweſen. Einen ſolchen Ring bildet nun nach Weber der Galvanometerdraht mit jeder Linie, die man zwiſchen den zwei Berührungspuncten dieſes Drahtes mit dem Magnet im Inneren des letzteren denken mag, und es gibt immer magnetiſche Elemente (die ihrem Weſen nach als ſehr kleine Magnete zu betrachten ſind), welche der einen Hälfte nach durch den ſo gedachten Ring gehen, und daher in demſelben einen Strom von conſtanter Richtung induciren. Weber hält dieſe Erſcheinung nach Ampère's Hypotheſe für unerklärlich, mithin für einen Beweis der Exiſtenz räumlich geſchiedener magnetiſcher Flüſſigkeiten, wofür er noch andere beachtenswerthe Gründe beibringt; doch ſcheint es, daß die in Ampere's Hypotheſe die magnetiſchen Elemente vertretenden Solenoide auch in dieſem Falle ganz eben ſo wirkend gedacht werden können, wie die magnetiſchen Elemente mit getrennten Polen. (Reſultate d. magnet. Vereines für 1839 S. 63; Pogg. Ann. 52. 353.)

Die in dieſem Kapitel vorgetragenen Lehren geben deutlich zu erkennen, daß die magneto-elektriſche Induction das Gegenſtück der elektro-magnetiſchen Action iſt; Elektricität in Bewegung ruft als laterale Wirkung Magnetismus hervor: Magnetismus in Bewegung, wenn auch nur in relativer, hat als laterale Wirkung Elektricität zur Folge. Doch mangelt es bis jetzt an einer auf klare Begriffe ſich gründenden Zuſammenfaſſung beider Wirkungsweiſen unter einerlei Geſichtspunct. Wie allverbreitet die Thätigkeit elektriſcher Ströme in der Natur ſeyn muß, läßt ſich aus dem Umſtande entnehmen, daß den ſo eben erklärten Geſetzen zu Folge kein Leiter der Elektricität ſich bewegen kann, ohne daß die Elektricität in ihm durch den Erdmagnetismus in Strömung verſetzt wird, ſo wie die Erde ſelbſt in dem Umſchwunge um ihre Axe eine continuirliche Veranlaſſung zur Erweckung elektriſcher Ströme an ſich trägt.

Eilftes Kapitel.

Thermoelektriſche Ströme.

183. Die Wärme iſt gleichfalls eine der Urſachen, welche das Entſtehen eines elektriſchen Zuſtandes bewirken. An iſolirten wie auch an ſchlechten Leitern bringt eine örtliche Temperaturänderung elektriſche Spannung hervor; an Leitern, welche der Elektricität eine Ausgleichung geſtatten, entſteht unter dieſen Umſtänden ein elektriſcher Strom, von dem hier beſonders gehandelt werden ſoll.

184. Wenn man zwei Metallſtücke derſelben Natur mit den Enddrähten eines Multiplicators verbindet, dann eines der Metalle erhitzt und hierauf beide in gegenſeitige Berührung bringt; ſo zeigt die Magnetnadel alſogleich einen elektriſchen Strom an, den man mit Recht einen thermo-elektriſchen nennen kann, weil er einzig und allein durch Temperaturdifferenz hervorgerufen wird. Die Stärke dieſes Stromes richtet ſich nach der Natur der Metalle und ihrer Temperaturdifferenz, in Bezug auf deſſen Richtung zerfallen aber die Metalle nach Emmet's und Nobili's Verſuchen in zwei Claſſen, nämlich in ſolche, wo der poſitive Strom mit dem Gange der

Wärme einerlei Richtung hat, und in andere, wo Wärme und Elektricität einander entgegengehen. In die erſte Claſſe gehören: Platin, Gold, Silber, Kupfer, Nickel; in die zweite: Zinn, Blei, Zink, Eiſen, Queckſilber, Arſenik, Antimon, Wismuth. Eine etwaige Oxydirung eines Metalles beim Erwärmen bringt eine Störung in dieſem Geſetze hervor (Emmet in Silliman's Journal 25. 271 und 26. 311; in Dove's Repertorium 1. 344). Es iſt nicht einmal nothwendig, die ungleich warmen Metallſtücke mit einander in unmittelbare Berührung zu bringen; denn Andrew's (Pogg Ann. 41. 164) hat derlei elektriſche Ströme auch erhalten, als er die Metalle von ungleicher Temperatur in einen Tropfen eines geſchmolzenen und dadurch leitend gewordenen Salzes (Borax, kohlenſaure und ſchwefelſaure Soda, kohlenſaures Kali, Chlorkalium, Jodkalium, Chlorſtrontium, borſaure Soda ꝛc.) ſteckte. Anſtatt die Metallſtücke erſt nach dem Erwärmen in Berührung zu bringen, kann man ſie auch erſt, wenn ſie ſchon einander berühren, erwärmen; ja man kann ſogar mit Erfolg an einem großen Metallſtücke eine örtliche Erwärmung hervorbringen und auch in dieſem Falle ſich vom Daſeyn eines elektriſchen Stromes überzeugen. Wird ein Kupferdraht zu einem Vierecke zuſammengebogen, wie Fig. 262 zeigt, und das hervorſtehende Ende b erwärmt, ſo tritt ein elektriſcher Strom in der Richtung der beigeſetzten Pfeile ein, und iſt ſchon ohne Multiplicator bemerklich. Windet man die mit einander verſchlungenen Enden eines Multiplicators ſchraubenförmig zuſammen und erhitzt ſie dann, ſo weicht alſogleich die Magnetnadel aus, zum Beweiſe, daß ein elektriſcher Strom eingetreten ſey. Verbindet man mit jedem Ende eines Multiplicatordrahtes einen getrockneten Thoncylinder, erhitzt einen derſelben am äußerſten Ende und berührt ihn dann mit dem zweiten; ſo zeigt ſich alſogleich ein vom warmen zum kalten Cylinder gehender Strom. Verſuche über Thermo-Elektricität in einem einzigen Metalle gelingen beſonders gut mit kryſtalliniſchen Metallen, z. B. mit Wismuth, Antimon ꝛc. An einem Wismuth- oder Antimonringe, der mit einer Flamme an einer Stelle erwärmt worden, fand Seebeck zwei Puncte, deren Erwärmung die ſtärkſte, und zwei andere, deren Erwärmung gar keine Elektricität gibt; man muß ſie aber an jedem Ringe eigens aufſuchen. Erhitzt man einen Cylinder oder ein Prisma von Wismuth an einer Stelle, ſtellt ſie dann im magnetiſchen Meridian unter eine empfindliche Magnetnadel, und dreht dabei den Stab um ſeine Axe; ſo findet man immer mehrere Stellen, von welchen die Nadel afficirt wird. Dieſe liegen meiſtens mit der Axe des Stabes parallel und je zwei derſelben haben eine Stelle zwiſchen ſich, welche gar nicht auf die Nadel wirkt. Yelin hat durch hölzerne Stäbe, in denen nach beſtimmten Richtungen längs der Axe leitende Drähte gezogen waren, durch welche ein ſchwacher elektriſcher Strom geleitet werden konnte, dieſelben Wirkungen erhalten, wie an einem erhitzten Wismuthſtabe. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 133, 253. Yelin in Gilb. Ann. 73. 415.

Schweigg. J. 37. 21. Nobili in Zeitſchr. 4. 350; 10.200, 221; Sturgeon in Zeitſchr. 10. 221.)

185. Sind die mit den Multiplicatorenden verbundenen, ungleich warmen Metallſtücke von ungleicher Natur, ſo entſteht bei ihrer Berührung um ſo eher ein elektriſcher Strom. Die Richtung dieſes hängt aber nun von der Natur der Metalle und dem Gangunterſchiede der Wärme in denſelben ab Es iſt klar, daß auch dieſe Metalle erſt, nachdem ſie ſchon mit einander verbunden, bloß zuſammengedrückt oder gar zuſammengelöthet ſind, an der Verbindungsſtelle erwärmt werden können. Da iſt die Richtung des Stromes bloß von der Natur der Metalle abhängig, weil durch dieſe auch ſchon der Gang der Wärme beſtimmt wird. Wird die Verbindungsſtelle ſtatt erwärmt zu werden erkaltet, ſo tritt auch der elektriſche Strom in entgegengeſetzter Richtung auf. Löthet man z. B. ein Stäbchen aus Wismuth mit einem aus Antimon (Spießglanz) an einem Ende zuſammen, ſo daß ſich die Metalle nur an dieſem Ende berühren, und bringt die freien Enden mit einem Fechner'ſchen Galvanometer oder mit einem andern, deſſen Gewinde eine geringere Länge dicken Drahtes enthält, in Verbindung; ſo gibt ſich bei der Erwärmung der Löthſtelle nur mit der Hand ein elektriſcher Strom zu erkennen, der vom Wismuth durch die Löthſtelle zum Spießglanz geht. Wird die Verbindungsſtelle erkältet oder was dasſelbe thut, werden die freien Enden erhitzt, ſo geht der Strom vom Spießglanz zum Wismuth. Man kann die Metalle in eine Reihe (thermo-elektriſche Reihe) zuſammenſtellen, in welcher ſie ſo auf einander folgen, daß im Falle der Erhitzung der Verbindungsſtelle der poſitive Strom der Elektricität immer vom nachfolgenden zum vorhergehenden geht und bei derſelben Temperaturdifferenz deſto ſtärker iſt, je weiter die Metalle in dieſer Reihe von einander abſtehen. Bei mancher thermo-elektriſchen Kette iſt die Stromſtärke innerhalb gewiſſer ziemlich weit von einander abſtehenden Grenzen der Temperaturdifferenz proportional, in anderen kann man auf dieſe Proportionalität nur innerhalb ſehr enger Grenzen oder auch gar nicht rechnen. So z. B. findet bei einer Wismuthkupferkette dieſe Proportionalität zwiſchen — 17° C. und + 17° C. Statt, bei einer Eiſenplatinkette ſcheint ſie aber gar nicht vorhanden zu ſeyn. (Pouillet in Pogg. Ann. 39. 567 und 41. 144.) Die Erfahrung hat gelehrt, daß, wenn man die thermo-elektriſche Kraft des erſten Metalls der genannten Reihe mit allen folgenden beſtimmt hat, die Kraft jeder beliebigen Combination aus dieſer Reihe dem Unterſchiede der Kräfte in Bezug auf das erſte gleich ſey. Nach Becquerel hängt die thermoelektriſche Reihe von dem Wärmeſtrahlungsverhältniſſe der betreffenden Metalle ab, von welchem in der Wärmelehre geſprochen werden wird. (Wrede in Pogg. Ann. 55. 175.)

Man hat für eine beſtimmte Temperaturdifferenz die Kraft einer Kette aus Eiſen und Silber = 26.20, aus Eiſen und Kupfer = 27.96, aus Eiſen und Zinn = 31.24, und aus Eiſen und Platin = 36.07 gefunden, und daher iſt die Kraft einer Kette aus Kupfer und

Silber = 27.96 — 26.20 = 1.76, aus Platin und Silber = 36.07 — 26.20 = 9.87 ꝛc. Beſagte Reihe iſt nach *Seebeck* folgende: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Meſſing Nr. 1, Gold Nr. 1, Kupfer, Meſſing Nr. 2, Platin Nr. 2, Queckſilber, Blei, Zinn, Platin Nr. 1, Chrom, Molybdän, Kupfer, Rhodium, Iridium, Gold Nr. 2, Silber, Zink, Kupfer Nr 3, Wolfram, Platin Nr. 4, Cadmium, Stahl, Eiſen, Arſenik, Antimon, Tellur. (*Seebeck* in Pogg. Ann. 6. 17; *Becquerel* in Zeitſchr. 1. 430.)

186. Man kann die bisher beſprochenen thermo-elektriſchen Ketten als *einfache* betrachten, und mehrere derſelben zu einer zuſammengeſetzten *Säule* oder thermo-elektriſchen Batterie verbinden, indem man die einzelnen Elemente nach der Reihe mit den freien Enden zuſammenlöthet und nur vom erſten und letzten ein Ende frei läßt. Nach Maßgabe des Gebrauches, für welchen derlei Thermoſäulen beſtimmt ſind, werden ſie auch in Hinſicht auf die Dimenſionen, materielle Beſchaffenheit und Anordnung der dazu verwendeten Metallſtäbe verſchieden conſtruirt, jedoch immer ſo, daß man die 1ſte, 3te, 5te ꝛc., oder die 2te, 4te, 6te ꝛc. Löthſtelle zugleich erwärmen oder erkalten kann. Solche Ketten geben an einem Multiplicator ſchon ſehr geringe Wärmedifferenzen zu erkennen, wenn man ſonſt zwiſchen der Säule und dem Multiplicator das rechte Verhältniß getroffen hat.

Das gewöhnliche Material zu thermo-elektriſchen Säulen iſt Wismuth und Spießglanz; man verwendet dazu prismatiſche Stücke aus genannten Metallen, angefangen von einigen Linien Breite und Dicke und 1½—2 Zoll Länge, bis zu einer ſolchen Dünne, als es die Bearbeitung der fragilen Metalle geſtattet, und ¾—1 Zoll Länge. Dickere Stücke ordnet man gewöhnlich zu parallelepipediſchen Säulen zuſammen, und wendet zur Iſolirung der Metalle, die nur an den Verbindungsſtellen ſich berühren dürfen, Gips an; dünnere Stängelchen kann man jedoch auch kamm- oder ſternartig an einander fügen (Kammſäulen und Strahlſäulen). Will man die homologen Enden einer Säule höheren Temperaturen ausſetzen, ſo muß man andere Metalle wählen; in dieſem Falle gebraucht man Packfong und Eiſen, oder Platin und Eiſen (*Nobili* in Pogg. Ann. 36. 525; *Dove* ebend. 44. 592). Eine Säule aus zarten Wismuth- und Spießglanzſtängelchen iſt fur ſtrahlende Wärme äußerſt empfindlich. Man kann damit eine Temperaturdifferenz von $\frac{1}{6000}$ Grad R. bemerklich machen. *Svanberg* beſchreibt einen ſolchen Apparat, deſſen Nadel durch die Wärme der Hand, wenn man ſie dicht vor den an die Säule angeſetzten Reflector hält, um 75° abweicht. Ein Menſch, der 10 Fuß davon entfernt ſteht, bewirkt ſchon durch ſeine Lebenswärme eine Ablenkung von 17° C. (Pogg. Ann. 56. 422. Zeitſchr u. F. 1. 187).

187. Der thermo-elektriſche Strom gibt ſich nicht bloß durch ſeine Wirkung auf eine Magnetnadel zu erkennen, ſondern er kann auch alle übrigen Wirkungen hervorbringen, die man von anderen elektriſchen Strömen kennt. Man hat bereits durch ſolche Ströme Froſchſchenkel in Zuckungen verſetzt, Waſſer und Salze zerlegt, Funken und ſelbſt Temperaturerhöhungen hervorgebracht. Es unterſcheidet

ſich demnach ein ſolcher Strom in nichts von einem anderen. Warum er nicht fähig iſt, einigermaßen dicke Flüſſigkeitsſchichten oder lange Leitungsdrähte zu durchſtrömen, ohne eine an Vernichtung grenzende Schwächung zu erleiden, wird ſpäter (191. Anm.) erklärt werden.

Nobili hat zuerſt mittelſt eines thermo-elektriſchen Stromes Zuckungen an Froſchſchenkeln hervorgebracht, Botto in Turin gelang es mittelſt einer Platineiſenſäule von 120 Elementen von 1 Z. Länge und $^1/_4$ Z. Dicke, geſäuertes Waſſer zu zerſetzen; Becquerel zerlegte gar mit einem einzigen Elemente aus Platin und Kupfer Metallſalze, wenn er den Pol des Elementes mit jenem Metall bekleidete, deſſen Oxyd dem Salze zur Baſis diente; Antinori brachte mit einer Säule aus 25 Antimon-Wismuthelementen einen glänzenden Funken hervor, wenn er die Kette durch einen ſpiralförmigen, langen, um einen weichen Eiſenſtab gewundenen Drath ſchloß; Watkins endlich erzielte dasſelbe mit einer einfachen Antimon-Wismuthkette, die er durch einen zuſammengerollten Kupferſtreifen, deſſen Windungen durch einen iſolirenden Stoff getrennt waren, ſchloß. Derſelbe hat auch mit einer maſſiven Thermoſäule von 218 Wismuth-Antimonelementen von 4 Zoll Länge an einem Luftthermometer bemerkliche Temperaturerhöhung erzeugt. (Nobili in Pogg. Ann. 14. 161; Botto ebend. 28. 238; Wheatſtone ebend. 41. 160; Watkins in *Phil. Mag.* 11. 399 und 304; 14. 32.)

Um derlei Verſuche auf eine ſichere Weiſe zu machen, dient am beſten eine Wismuth-Spießglanzſäule von 16—25 maſſiven Elementen, deren unteres, die eine Reihe der Löthſtellen enthaltendes Ende man in ſiedendes Waſſer taucht, während man das obere durch Eis oder auch nur durch einen Strom kalten Waſſers abkühlt, den man aus einer Mariotte'ſchen Flaſche darauf gehen und durch ein Abzugsrohr oder einen Heber ablaufen läßt. Fig. 263 ſtellt eine ſolche thermo-elektriſche Säule vor. Eine ſolche Säule bringt Elektromagnete zu Stande, ſetzt das Barlow'ſche Rädchen und ähnliche Apparate in Bewegung, erzeugt inducirte Ströme, deren Intenſität, wenn man eine Drahtrolle mit Eiſenkern anwendet, ſich bis zu bedeutenden Funken und merklichen Stößen ſteigern läßt.

188. Die Kenntniß der thermo-elektriſchen Ströme iſt in theoretiſcher und praktiſcher Hinſicht gleich wichtig. Man kann auf dieſe Kenntniß geſtützt, überall, wo in guten geſchloſſenen Leitern Temperaturunterſchiede Statt finden, mit Grund das Daſeyn elektriſcher Ströme annehmen. Namentlich gilt dieſes vom Inneren der Erde, deren Ströme vielleicht zur Kraft des Erdmagnetismus beitragen und durch die ſtets wandelbare und immer nur auf einen Theil der Erde wirkende Kraft der Sonne hervorgebracht werden müſſen. In einigen Erzgängen hat man das Daſeyn ſolcher Ströme wirklich ſchon nachgewieſen (Zeitſchr. 10. 118). In practiſcher Beziehung gibt uns die Thermo-Elektricität ein treffliches Mittel an die Hand, elektr. Ströme von conſtanter Stärke zu gewinnen, indem man, um einen ſolchen zu erzeugen, nur die Temperaturdifferenz einer Kette unveränderlich zu erhalten braucht. Dieſelbe bietet uns auch treffliche Mittel dar, ſowohl ſehr hohe als ſehr niedere Temperaturen, beſonders aber ſehr kleine Temperaturdifferenzen zu meſſen, wovon in der Lehre von der Wärme ausführlicher die Rede ſeyn wird.

Zwölftes Kapitel.

Maßbeſtimmungen für die elektriſche Kette.

189. Der elektriſche Strom iſt ein rein dynamiſches Phänomen und daher ſeine Größe oder das, was man die Stromſtärke zu nennen pflegt, von der beſchleunigenden Kraft und von den Hinderniſſen abhängig, die er zu gewältigen hat. Die beſchleunigende Kraft iſt der Unterſchied der Spannungen zweier an einander grenzenden Elemente, von denen aus die Fortpflanzung erfolgt, oder bei einem Elektromotor, die elektromotoriſche Kraft ſelbſt. Bezeichnet man dieſe Kraft mit E, den Widerſtand, den der Strom zu überwinden hat, mit L und die daraus reſultirende Stromſtärke mit P; ſo iſt die einfachſte Annahme, bezüglich des Zuſammenhanges zwiſchen dieſen drei Größen die durch nachſtehende Formel ausgedrückte:

$$P = \frac{E}{L}. \quad (1)$$

Die durch dieſe Formel ausgedrückte Relation iſt unter dem Namen des Ohm'ſchen Geſetzes bekannt und wird durch unzählige Erfahrungen und durch die genaue Uebereinſtimmung der daraus gezogenen Folgerungen mit den Ergebniſſen directer Verſuche beſtätigt.

190. Die elektromotoriſche Kraft hat ihren Sitz gewöhnlich an einer beſchränkten Stelle des Erregungsapparates, und deſſen übriger Theil muß gewiſſermaßen zum Stromleiter gerechnet werden, aber er wirkt durch ſeinen Leitungswiderſtand auf die Elektricitätsquelle zurück und läßt nur ſo viel davon abfließen, als er zu leiten vermag. Hier zeigt ſich nun zwiſchen den elektriſchen Ketten ein Unterſchied. Bei manchen Ketten circulirt der Strom bloß in feſten Körpern, wie z. B. in einem thermoelektriſchen, in anderen muß er auch einen flüſſigen Körper durchdringen, wie bei den hydroelektriſchen Ketten oder ſolchen, bei denen man abſichtlich eine Flüſſigkeit in den elektriſchen Kreis bringt, etwa um ſie zu zerſetzen. Sowohl der feſte als der flüſſige Körper, deſſen Leitungswiderſtand hier in Rede ſteht, gehört entweder zum Elektromotor ſelbſt, wie z. B. die Schwefel- und Salpeterſäure der Grove'ſchen Kette, oder ſie macht einen Theil des Schließungsdrahtes aus, wie es mit der Flüſſigkeit im Voltameter der Fall iſt. Im Allgemeinen denkt man ſich den geſammten in einer geſchloſſenen Kette vorhandenen Widerſtand in zwei Theile getheilt, in jenen, der im eigentlichen Elektromotor Statt findet, derſelbe mag nun aus lauter feſten oder aus feſten und flüſſigen Leitern beſtehen, und in jenen, der ſich im eigentlichen Schließungsdrahte befindet. Nennt man erſtern R, letztern r, ſo geht die Formel (1) über in

$$P = \frac{E}{R + r} \quad (2).$$

Jeder feſte Körper, er mag zum Elektromotor ſelbſt oder zum Schließungsdrahte gehören, leiſtet einen beſtimmten, nur von ſeiner

Natur, von ſeinen Dimenſionen und ſeiner Temperatur abhängigen Widerſtand, und es läßt ſich immer ein Draht von beſtimmter Natur, Temperatur, Dicke und Länge finden, welcher dem elektriſchen Strom einen eben ſo großen Widerſtand entgegen ſetzt und demnach jenem Körper äquivalent iſt. Dasſelbe gilt zwar auch bei flüſſigen Körpern; doch wirken dieſe auch noch auf eine andere Weiſe auf den Strom einer Kette. Es iſt nämlich aus dem Vorhergehenden bekannt, daß Metalle, die ſonſt nicht elektromotoriſch wirken, ſobald ſie an eine Flüſſigkeit grenzen und zur Leitung eines durch dieſelbe geführten elektriſchen Stromes dienen, alſogleich als Elektromotoren erſcheinen und einen Strom erzeugen, der dem urſprünglich geleiteten entgegen geſetzt iſt. Man nennt dieſen Vorgang die **Polariſation** der Metalle und ſchreibt ſie der Einwirkung der Flüſſigkeit auf dieſelben zu. Man muß darum in dem Falle, wo Flüſſigkeiten ſich in der Kette befinden, auf den durch die Polariſation erzeugten Gegenſtrom Rückſicht nehmen, welches dadurch geſchieht, daß man ſich die elektromotoriſche Kraft der Erreger um die der Polariſation entſprechende Kraft vermindert denkt, wo dann E in der Formel (1) oder (2) den Unterſchied der elektromotoriſchen Kraft der Hauptquelle des Stromes und der Polariſation bedeutet. Iſt dieſes geſchehen, ſo kann man im Weſentlichen den Widerſtand einer Flüſſigkeit wie jenen eines feſten Körpers behandeln.

191. Die Formel (2) gilt offenbar nur für eine einfache Kette; man kann aber leicht zeigen, mit welcher Modification ſie auch auf eine zuſammengeſetzte bezogen werden kann. Bei einer ſolchen liefert nämlich jede einfache Beſtandkette einen ſelbſtſtändigen Strom und für jeden Strom eines Gliedes dienen alle übrigen als Leiter. Bezeichnet man daher mit e', e'', e''' . . . die elektromotoriſchen Kräfte der die Batterie zuſammenſetzenden einfachen Ketten, mit ρ', ρ'', ρ''' . . . die Widerſtände in derſelben und mit r jenen des gemeinſchaftlichen Schließungsdrahtes; ſo werden die Größen der einzelnen Partialſtröme ausgedrückt durch:

$$\frac{e'}{r+\rho'+\rho''+\rho'''+\ldots},\quad \frac{e''}{r+\rho'+\rho''+\rho'''+\ldots},\quad \frac{e'''}{r+\rho'+\rho''+\rho'''+\ldots}$$

und der Strom der zuſammengeſetzten Kette durch:

$$\frac{e'+e''+e'''+\ldots}{r+\rho'+\rho''+\rho'''+\ldots}$$

Bedeutet demnach E die Summe der elektromotoriſchen Kräfte aller einzelnen Beſtandketten und R die Summe ihrer Widerſtände, ſo hat man für die Stromſtärke den Ausdruck

$$P=\frac{E}{R+r}$$

der mit (2) vollkommen übereinſtimmt, ſo daß letztere Formel nach Umſtänden die Stromſtärke einer einfachen oder zuſammengeſetzten Kette darſtellen kann.

Eine nähere Betrachtung des Verhältniſſes der Werthe R und r bei der hydro-elektriſchen und thermo-elektriſchen Kette führt zur Kenntniß des verſchiedenen Verhaltens dieſer zwei Ketten. In der hydro-elektriſchen Kette iſt in der Regel R groß gegen r und daher verträgt eine ſolche Kette einen nicht unbedeutenden Widerſtand im Schließungsleiter; in der thermo-elektriſchen Kette iſt hingegen r groß gegen R und darum hat ſchon eine geringe Vermehrung des Widerſtandes im Schließungsleiter eine große Schwächung der Stromſtärke zur Folge.

192. Der Strom einer einfachen oder zuſammengeſetzten Kette iſt offenbar ſtärker, wenn dieſelbe ohne Zwiſchenleiter geſchloſſen wird oder wenn $r = 0$ iſt, als wenn die Schließung mit einem Zwiſchenleiter geſchieht. In erſterem Falle hat man für die Stromſtärke $\frac{E}{R}$ und dieſer Ausdruck gibt demnach das Maximum die Stromſtärke einer ſolchen Kette an. Bezeichnet man das Maximum der Stromſtärke mit P_0, ſo erhält man mittelſt der Gleichung $P = \frac{E}{R + r}$ unmittelbar $P = \frac{P_0 R}{R + r}$, einen Ausdruck, in welchem E nicht vorkommt.

193. Denkt man ſich n Volta'ſche Elemente, für deren jedes die Stromſtärke durch $\frac{E}{R + r}$ ausgedrückt wird, zu einer zuſammengeſetzten Kette verbunden; ſo erhält man für die Stromſtärke P' dieſer Kette den Ausdruck

$$P' = \frac{nE}{nR + r} \quad (3)$$

weil hier ſowohl die elektromotoriſche Kraft E als der Widerſtand R n mal vorkommt. Werden aber die n Elemente zu einem n mal größeren Elemente verbunden, ſo wird der Widerſtand in der Kette n mal kleiner und demnach die Stromſtärke in dieſem Elemente ausgedrückt durch

$$P'' = \frac{E}{\frac{R}{n} + r} = \frac{nE}{R + nr} \quad (4).$$

Man betrachte nun zwei extreme Fälle bezüglich der Werthe R und r, nämlich jenen, wenn der Leitungswiderſtand r im Schließungsleiter ſehr gering iſt oder wenn das umgekehrte Verhältniß Statt findet.

Iſt r ſehr groß gegen R, ſo daß man R und ſogar nR gegen r vernachläſſigen kann; ſo erhält man:

$$P = \frac{E}{r}, \quad P' = \frac{nE}{r} = Pn, \quad P'' = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r} = P. \quad (5)$$

Es führt demnach in dieſem Falle die Vermehrung der Elemente in demſelben Verhältniſſe eine Verſtärkung des Stromes herbei, die Vergrößerung der Erreger iſt aber ohne Wirkung.

Iſt r ſehr klein gegen R, ſo daß ſowohl r als n r gegen R verſchwindet, ſo erhält man:

$$P = \frac{E}{R}, \quad P' = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R} = P, \quad P'' = \frac{nE}{R} = nP \quad (6)$$

In dieſem Falle iſt alſo die Vermehrung der Erregerplatten ohne Erfolg, die Vergrößerung derſelben aber hat eine proportionale Verſtärkung des Stromes zur Folge.

194. Vorher wurde bemerkt, daß ſich der Widerſtand im Schließungsdrahte nach ſeiner Natur, Temperatur und nach ſeinen Dimenſionen richte. Um nun dieſen Zuſammenhang nummeriſch zu beſtimmen, bedient man ſich einer beſtändigen Stromquelle. Als ſolche dienet ein Wismuthcylinder, an deſſen jedem Ende ein Kupferdraht von etwa 3 Fuß Länge angelöthet iſt. Wird eine Löthſtelle bei der Temperatur von 0°, die andere bei 100° erhalten, welches mittelſt ſchmelzendem Eis und ſiedendem Waſſer leicht erzielt werden kann, und dann die Kette geſchloſſen; ſo erhält man einen Strom von conſtanter Stärke. Zu den hier in Rede ſtehenden Verſuchen braucht man zwei ſolche Cylinder, die unter denſelben Umſtänden genau denſelben Strom geben. Man bringt ſie in eine gemeinſchaftliche Faſſung in paralleler Lage, ſo daß man die homologen Enden auf dieſelbe Temperatur und zwar die einen auf 0° die andern auf 100° bringen kann.

Schon vorhinein läßt ſich annehmen, daß Drähte, wie man ſie gewöhnlich als Stromleiter braucht, nach Maßgabe ihrer Länge und Dicke Widerſtand leiſten. Um nun den Einflüß der Länge auszumitteln, nehme man zwei gleich dicke und auch ſonſt homogene Drähte von ungleicher Länge, aber von derſelben Natur und Dicke, wie ſie an die Wismuthcylinder gelöthet ſind, wickle beide in parallelen Lagen um einen Rahmen, innerhalb welchen ſich eine leicht bewegliche Magnetnadel befindet, als wollte man ſie zu einem Galvanometer winden, nehme aber vom längern in demſelben Verhältniſſe mehr Windungen, als er länger iſt, verbinde jeden dieſer Drähte mit den Enddrähten eines Wismuthcylinders und leite den elektriſchen Strom des damit zuſammenhängenden Wismuthcylinders bei der vorbenannten Temperaturdifferenz ſeiner Enden durch den einen und jenen des andern im entgegengeſetzten Sinne durch den andern Draht ſo, daß die Magnetnadel von beiden Strömen zugleich, jedoch im entgegengeſetzten Sinne afficirt wird. Da lehrt nun die Erfahrung, daß dieſe Nadel keine Ablenkung erleidet und daß daher der Strom in einer Windung des längeren Drahtes im Verhältniſſe der größern Windungszahl oder was dasſelbe iſt, der größeren Länge ſchwächer iſt, als in einer Windung des kürzeren. Daraus folgt, daß der Leitungswiderſtand der Länge des Drahtes proportionirt ſey. Nimmt man zwei gleich lange, aber un-

gleich dicke Drähte von derſelben Natur, und gibt dem dickern im Verhältniſſe ſeines größeren Querſchnittes weniger Windungen, verfährt aber übrigens wie vorhin; ſo erleidet auch von den durch ſie in entgegengeſetzter Richtung geleiteten gleichen Strömen die Nadel keine Ablenkung zum Beweiſe, daß beim dickeren Drahte die Stromſtärke einen vollkommenen Erſatz für die größere Anzahl der Windungen leiſte oder daß ſich der Widerſtand verkehrt wie die Querſchnitte verhalte.

Die hier angegebenen Reſultate erhält man aber nur, wenn beide Drähte dieſelbe Temperatur haben. Iſt einer von beiden wärmer als der andere, ſo erſcheint in der Regel der durch ihn geleitete Strom ſchwächer, zum Beweiſe, daß der Widerſtand in der Regel mit der Temperatur zunehme.

195. Bezeichnet k den Leitungswiderſtand eines cylindriſchen oder prismatiſchen Leiters von der Länge $=1$ und dem Querſchnitte $=1$; ſo wird der Widerſtand r eines Leiters von derſelben Natur und Temperatur, aber von der Länge l und dem Querſchnitte q aus der Proportion $k : r = 1 : \frac{l}{q}$ gefunden. Es iſt demnach

$$r = \frac{k\,l}{q} \qquad (7).$$

Man kann ſich r als die Länge eines Drahtes vom Querſchnitte $=1$ und von einer materiellen Beſchaffenheit, für welche $k=1$ iſt, vorſtellen, wornach der Leitungswiderſtand eines Schließungsdrahtes immer durch eine ſolche Drahtlänge dargeſtellt werden kann. Man nennt ſie die reducirte Länge des Schließungsleiters. Die Größe k kann der ſpecifiſche Leitungswiderſtand genannt werden. Man hat eigene Vorrichtungen, um die reducirte Länge ſcharf zu beſtimmen. (Jacobi in Pogg. Ann. 54. 340; 59. 145.)

196 Einen ähnlichen Ausdruck, wie man ihn hier für r gefunden hat, erhält man auch für die Größe R; denn es iſt klar, daß ſich dieſelbe unter der Form $\frac{h}{s}$ darſtellen läßt, wenn s die Oberfläche der Platten eines gewöhnlichen Elektromotors und h eine von der materiellen Beſchaffenheit der Kette abhängige Größe bedeutet. Man hat daher für die einfache Kette die Gleichung

$$P = \frac{E}{\frac{h}{s} + \frac{k\,l}{q}} \qquad (8),$$

für eine Kette von n Elementen

$$P' = \frac{n\,E}{\frac{n\,h}{s} + \frac{k\,l}{q}} \qquad (9).$$

Die Polariſation muß ſchon in E mitbegriffen ſeyn.

197. Die vorhergehende Formel läßt ſich leicht auf den Widerſtand einer flüſſigen Schichte anwenden, indem man nämlich unter l die Dicke dieſer Schichte oder die Entfernung der feſten Leiter oder Erreger von einander, zwiſchen denen ſich die Flüſſigkeit befindet, unter q den Querſchnitt dieſer feſten Leiter, von denen die Elektricität aus- oder einſtrömt, und unter k den Widerſtand einer Schichte von der Dicke $=1$ und dem Querſchnitte $=1$ verſteht. Ungeachtet dieſer Uebereinſtimmung herrſcht doch zwiſchen dem Verhalten der feſten und flüſſigen Leiter bezüglich ihres Widerſtandes ein weſentlicher Unterſchied. Während man nämlich den Widerſtand eines feſten Leiters allgemein durch die reducirte Länge eines andern ausdrücken kann, iſt dieſes bezüglich der flüſſigen Körper nicht allgemein der Fall. Der Grund liegt in der Polariſation, welche Metalle in Berührung mit Flüſſigkeiten durch den elektriſchen Strom erleiden. Iſt nämlich E wie vorhin die elektromotoriſche Kraft einer Stromquelle, R die Summe aller Widerſtände in der Kette und r jener im Schließungsleiter, ferner S die der Polariſation entſprechende elektromotoriſche Kraft; ſo hat man für die Stromſtärke P den Ausdruck

$$P = \frac{E - S}{R + r}.$$

Bedeutet ferner ρ den Widerſtand eines Schließungsdrahtes, der mit einer Flüſſigkeit, worauf ſich S bezieht, äquivalent iſt; ſo erhält man

$$P = \frac{E}{R + \rho}$$

und ſomit

$$\frac{E - S}{R + r} = \frac{E}{R + \rho} \quad \text{oder } \rho = \frac{Er + SR}{E - S}.$$

Daher erhält ρ verſchiedene Werthe, ſobald ſich R oder E oder gar beide ändern, und nur für den Fall, daß $S = 0$ iſt, d. h. daß keine Polariſation vorhanden, bleibt ρ von R und E unabhängig.

198. Theilt ſich der Schließungsdraht an einer beliebigen Stelle in zwei oder mehrere Arme, ſo muß ſich auch der Strom in eben ſo viele Partialſtröme theilen; vereinigen ſich die Zweige des Leiters wieder zu einem gemeinſchaftlichen Stamme, ſo geſchieht dieſes auch mit dem Strome. Man kann für die Stärke der Partialſtröme leicht mathematiſche Ausdrücke finden: Es mag nämlich Länge, Temperatur und materielle Beſchaffenheit der beiden Seitenarme des Stromleiters wie immer beſchaffen ſeyn, ſo kann man ſich ſtatt derſelben zwei äquivalente Drähte denken, die ſich bloß im Querſchnitte von einander unterſcheiden, wenn nur dieſe Querſchnitte angemeſſen gewählt werden. Iſt nämlich r' der Widerſtand in einem, r'' im anderen Arme, q' der Querſchnitt des einen, q'' jener des andern, l deren gemeinſchaftliche Länge und k der ſpecifiſche Leitungswiderſtand; ſo müſſen q' und q''

denGleichungen $r' = \frac{kl}{q'}$ und $r'' = \frac{kl}{q''}$ entſprechen, oder es muß ſeyn

$$q' = \frac{kl}{r'}, \quad q'' = \frac{kl}{r''} \quad \text{(a)}.$$

Die beiden ſubſtituirten Arme zu einem einzigen Leiter vereinigt geben einen ſolchen vom Querſchnitte $q' + q'' = q$ und der Widerſtand in dieſem wird gleich $\frac{kl}{q} = r$ ſeyn, oder man hat $q = \frac{kl}{r}$ und hieraus mittelſt $q = q' + q''$ die Gleichung $\frac{kl}{r} = \frac{kl}{r'} + \frac{kl}{r''}$ d. h.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''} \quad \text{oder} \quad r = \frac{r' r''}{r' + r''} \quad \text{(b)}$$

Iſt nun E die elektromotoriſche Kraft, R der Widerſtand in der Stromquelle, r jener im ungetheilten Leiter, ſo iſt für den ungetheilten Strom $p = \frac{E}{R + r}$ und wenn man für r obigen Werth ſetzt:

$$p = \frac{E(r' + r'')}{R(r' + r'') + r'r''} \quad \text{(10)}.$$

Jeder Arm des Leiters muß offenbar einen ſeinem Querſchnitte proportionalen Theil des ganzen Stromes p leiten. Iſt daher die Stromſtärke in einem Arme p', im andern p''; ſo hat man:

$p : p' = q : q'$; $p : p'' = q : q''$ und daher $p' = \frac{p \cdot q'}{q}$, $p'' = \frac{p \cdot q''}{q}$

oder wenn man für q' und q'' die Werthe von (a) und für p den Werth von (10) ſubſtituirt, ſo wird

$$p' = \frac{E\, r''}{R(r' + r'') + r'r''}; \quad p'' = \frac{E\, r'}{R(r' + r'') + r'r''} \quad \text{(11)}.$$

Iſt r' ſehr klein im Vergleiche mit r'', welches z. B. der Fall iſt, wenn der erſte Arm des Stromleiters aus einem kurzen, dicken, der zweite aus einem langen, dünnen Drahte beſteht, wie man ihn zu multiplicirenden Galvanometern braucht; ſo kann man r' gegen r'' vernachläßigen und daher ſetzen:

$$p'' = \frac{E\, r'}{(R + r')\, r''}$$

oder wenn auch r' gegen R verſchwindend klein iſt

$$p'' = \frac{E\, r'}{R\, r''}.$$

Hieraus ergibt ſich ein einfaches Mittel zur Beſtimmung der Relation zwiſchen den Anzeigen eines Galvanometers und den ihnen entſprechenden Stromſtärken, wie dieſes von Petrina empfohlen worden iſt. Nimmt man nämlich eine Queckſilber enthaltende Rinne von 4 Q. Linien Querſchnitt, und läßt durch ſie einen elektriſchen

Strom gehen, taucht ferner die Drahtenden eines Galvanometers in dieſe Rinne und beobachtet den Ablenkungswinkel der Magnetnadel, ändert dann die Länge der zwiſchen beiden Drahtenden befindlichen Queckſilberſäule und wiederholt die Beobachtung der Ablenkung; ſo hat man einerſeits an der Länge der Queckſilberſäulen das Verhältniß der Stromſtärken, andererſeits an der Magnetnadel die ihnen entſprechenden Ablenkungswinkel. (Petrina in Holgers Zeitſchr. 1. 165, 242; Pogg. Ann. 57. 111.)

199. Eine andere Theilung des Stromes, von der ſpäter eine Anwendung gemacht werden wird, findet Statt, wenn zwei Ketten PN und P′N′ (Fig. 264) durch einen gemeinſchaftlichen Schließungsleiter AB mit einander verbunden ſind. Sollen die in jeder derſelben wie auch im Draht AB herrſchenden Stromſtärken beſtimmt werden; ſo nenne man die elektromotoriſchen Kräfte der Ketten E und E′, ihre Leitungswiderſtände, die bis zu A und B gehenden Leitungsdrähte mitgerechnet, R und R′, den Widerſtand von AB ſelbſt r, endlich die Stromſtärken, welche in NP, N P′ und AB Statt haben würden, wenn NP allein thätig wäre p, p', p'', dieſe Stromſtärken, wenn N′P′ allein thätig wäre $p_{,}$, $p_{,}'$, $p_{,,}''$, und die bei der gleichzeitigen Thätigkeit beider Ketten darin obwaltenden Stromſtärken P, P', P''; ſo iſt, in ſo ferne gleichnamige Pole der Ketten direct mit A und die andern mit B verbunden ſind, d. h. in ſo ferne die Ströme der Ketten in übereinſtimmendem Sinne gehen

$$P = p - p_{,}; \quad P' = p_{,}' - p'; \quad P'' = p'' + p_{,}';$$

ferner

$$p = \frac{E}{R + \frac{R'r}{R'+r}} = \frac{E(R'+r)}{BR' + Rr + R'r} = \frac{E(R'+r)}{S}$$

wenn man $RR' + Rr + R'r = S$ ſetzt.

Eben ſo wird

$$p' = \frac{Er}{S}, \quad p'' = \frac{ER'}{S}$$

$$p_{,} = \frac{E'(R'+r)}{S}, \quad p_{,}' = \frac{E'r}{S}, \quad p_{,,}'' = \frac{E'R}{S}$$

folglich

$$P = \frac{E(R+R') - E'r}{S}, \quad P' = \frac{E'(R+r) - Er}{S}, \quad P'' = \frac{ER' + E'R}{S} \quad (12).$$

Sind die Ketten NP und N′P′ ungleichnamig verbunden, ſo iſt E′ gegen E negativ zu nehmen. Für ſo verbundene Ketten geht der Werth von P″ über in $\frac{ER' - E'R}{S} = P''$. Mißt man nun die Stärke der Ströme im Leitungsdrahte AB ſowohl bei der gleichnamigen als bei der ungleichnamigen Verbindung der Ketten, ſo kennt man

die Werthe von P'' und $P_{,}''$ und kann dann folgende Rechnung führen:

$$P'' + P_{,}'' = \frac{2ER'}{S}, \quad P'' - P_{,}'' = \frac{2E'R}{S}$$

mithin

$$\frac{P'' + P_{,}''}{P'' - P_{,}''} = \frac{ER'}{E'R} = \frac{E}{R} : \frac{E'}{R'}.$$

Man erhält ſonach in dieſem Verfahren ein ſehr ſcharfes Mittel, das Verhältniß der Strommaxima zweier Ketten zu beſtimmen.

200. Die in dieſem Kapitel entwickelten Formeln erlauben vielfache Anwendungen auf die Theorie der einfachen und zuſammengeſetzten Kette und der elektromotoriſchen Apparate, auch ſind ſie geeignet, um die Conſtanten einer Kette zu beſtimmen. Wir wollen mehrere dieſer Anwendungen näher andeuten: Es ſey die Geſammtmaſſe von Metallplatten, wie ſie zu Elektromotoren dienen, gegeben. Aus dieſem Materiale kann man nun mehrere kleine oder eine geringere Anzahl größerer Platten erhalten. In wie viele derſelben ſoll man nun das Materiale theilen, um bei derſelben Schließungsweiſe den größten Effect herbei zu führen? Iſt R der Widerſtand, welcher in der Kette für ſich allein Statt finden würde, wenn das gegebene Materiale ungetheilt verwendet würde, ſo wird dieſer Widerſtand durch Zertheilen derſelben in n Platten auch n mal größer und es drückt daher nR den Widerſtand in jedem der n Elemente aus, welche man aus dem gegebenen Materiale gebildet hat. Daher erhält man für die Stromſtärke

$$P' = \frac{nE}{n^2 R + r} = \frac{E}{nR + \frac{r}{n}}$$

wo P', E, r die ſchon öfter gebrauchten Bedeutungen haben. Dieſer Ausdruck erhält offenbar für jene Annahme von n den größten Werth, für welchen der Nenner $nR + \frac{r}{n}$ am kleinſten iſt. Gibt man der Zahl n irgend einen Werth und ändert ihn hernach um n', ſo daß $n + n'$ an die Stelle von n kommt, wobei n' poſitiv oder negativ iſt, je nachdem n vergrößert oder verkleinert wird; ſo wird der Werth jenes Nenners nunmehr $(n + n')R + \frac{r}{n + n'}$. Hat man für n den Werth angenommen, für welchen $nR + \frac{r}{n}$ am kleinſten iſt, ſo muß $(n + n')R + \frac{r}{n + n'}$ jedenfalls größer ſeyn als dieſer kleinſte Werth, und es wird daher, wenn man den vorhergehenden Ausdruck von dem folgenden abzieht, eine poſitive Differenz erſcheinen. Nun iſt aber

$$(n+n')R+\frac{r}{n+n'}-\left(nR+\frac{r}{n}\right)=n'R-\frac{n'r}{n(n+n')}$$
$$=n'\left(R-\frac{r}{n^2+nn'}\right).$$

Wählt man daher n ſo, daß $R=\frac{r}{n^2}$ iſt, ſo wird $R-\frac{r}{n^2+nn'}$ poſitiv oder negativ, je nachdem n' poſitiv oder negativ iſt, folglich das Product $n'\left(R-\frac{r}{n^2+nn'}\right)$ gewiß poſitiv. Es iſt alſo, um den größten Werth der Stromſtärke P' zu erhalten $n^2=\frac{r}{R}$ oder $n=\sqrt{\frac{r}{R}}$ zu nehmen, d. h. das gefundene Materiale in ſo viele Elemente zu theilen, als die ganze Zahl, die dem Werthe $\sqrt{\frac{r}{R}}$ am nächſten liegt, Einheiten hat. Das Maximum der Stromſtärke wird demnach ſeyn

$$P'=\frac{E\sqrt{\frac{r}{R}}}{2r}=\frac{E}{2}\sqrt{\frac{1}{rR}}.$$

n^2R iſt der Geſammtwiderſtand in der zuſammengeſetzten Kette, und da für den Fall der größten Stromſtärke $n^2R=r$ iſt, ſo ſieht man, daß bei einer gegebenen Quantität des Materials für die Erreger jene Batterie den ſtärkſten Strom gibt, bei welcher der Widerſtand in der Batterie jenen im Schließungsleiter gleich iſt. Das Maximum der Stromſtärke in einem einzelnen Elemente wäre $\frac{E}{nR}$. Wenn dieſes ein Theil der vorbeſprochenen Batterie iſt, für welche man nahe $n=\sqrt{\frac{r}{R}}$ hat; ſo geht dieſer Werth über in $\frac{E}{\sqrt{rR}}$. Daraus folgt das merkwürdige Geſetz, daß die Stromſtärke einer Batterie für den Fall des Maximums ihrer Wirkung gleich ſei dem halben Maximum der Stromſtärke einer der einfachen Ketten, aus welchen die Batterie zuſammengeſetzt iſt.

201. Der Leitungswiderſtand ſpielt bei den elektromagnetiſchen Apparaten eine große Rolle und man muß ſeinen Einfluß bei der Theorie derſelben kennen. Hat ein multiplicirendes Inſtrument dieſer Art n Windungen, deren jede dem Strome einen Widerſtand r entgegen ſetzt; ſo iſt der Widerſtand aller Windungen $=nr$. Bedeutet nun E die elektromotoriſche Kraft der Stromquelle, R den eigenen Widerſtand derſelben; ſo iſt die Kraft, mit welcher eine Windung des Apparates auf die Magnetnadel wirkt, da ſie der Stromſtärke propor-

tional iſt, durch den Ausdruck $\frac{hE}{R+nr}$ gegeben, wobei h eine von der Geſtalt des Drahtes und dem Magnetismus der Nadel abhängige Größe vorſtellt. Die Kraft des ganzen Apparates iſt daher

$$Q = \frac{nhE}{R+nr} = \frac{hE}{\frac{R}{n}+r}.$$

Man ſieht leicht, daß die Wirkung dieſes Apparates auf die Magnetnadel deſto größer ausfällt, je mehr Drahtwindungen er enthält, daß ſie aber die durch $\frac{hE}{r}$ bezeichnete Gränze nicht überſchreiten könne, ja daß ſelbſt dieſe nicht ganz erreicht werde, weil nicht alle Windungen von der Nadel gleich weit abſtehen und die ferneren weniger auf ſie wirken, als die näheren. Aus derſelben Drahtmaſſe laſſen ſich dickere und dünnere Drähte ziehen; je dicker ſie ſind, deſto weniger Windungen geben ſie, deſto weniger Widerſtand leiſten ſie dem Strome und deſto ſtärker wirkt jede Windung auf die Magnetnadel; hingegen je geringere Dicke ſie haben, deſto mehr widerſtehet jede Windung dem durchgehenden Strome, aber deſto mehr Windungen laſſen ſich von der gegebenen Metallmenge machen. Es muß daher bei jeder Metallmaſſe eine Zahl der Windungen geben, bei welcher der Effect den größten Werth erreicht. Man kann ſich überzeugen, daß dieſes Maximum der Wirkung erreicht wird, wenn $n^2 r = R$ oder $n = \sqrt{\frac{R}{r}}$ iſt. Hier bedeutet r den Widerſtand der zu einer einzigen Windung verwendeten ganzen Metallmaſſe. Da $n^2 r$ den geſammten Widerſtand des Galvanometerdrahtes bezeichnet, ſo iſt die Wirkung auf die Nadel am größten, wenn dieſer Widerſtand dem der Stromquelle gleich iſt.

202. Eine ähnliche Aufgabe bietet ſich bei der magneto-elektriſchen Rotationsmaſchine dar. Bei dieſer wirken nämlich die Aenderungen des Magnetismus weicher Eiſenſtäbe auf gut leitende Drahtſpiralen, deren ſo viele, von einander und vom Eiſenſtab iſolirt, um denſelben gewunden werden, als die Drahtlänge oder die Conſtruction der Maſchine erlaubt. Nimmt man den Draht dick, ſo erhält man innerhalb des disponiblen Raumes wenige Windungen, gibt man ihm eine geringere Dicke, ſo erhält man zwar eine größere Zahl von Windungen, allein jede derſelben ſetzt dem inducirten Strome, der durchgeleitet wird, einen größeren Widerſtand entgegen. Von welcher Art hat man nun die Spiralen zu wählen, um die ſtärkſte Wirkung zu erhalten? Die Löſung dieſer Aufgabe wird auf folgende Weiſe bewerkſtelliget: Es habe jeder der beiden Eiſencylinder, welche in mehreren Lagen mit Drahtwindungen verſehen werden ſollen, den Durchmeſſer a, der Draht aber die Dicke u, wobei man die Dicke des iſolirenden Ueberzuges vernachläßiget. Da iſt nun die Länge einer Windung der erſten Lage $=(a+u)\pi$, die der zweiten $(a+3u)\pi$ und allgemein die der nten Lage $[a+(2n-1)u]\pi$ wobei π das bekannte Kreisver-

hältniß bezeichnet. Hat der Eiſencylinder, ſo weit er überwickelt werden ſoll, die Länge b, ſo kommen auf denſelben $\frac{b}{u}$ Windungen, und es iſt demnach die Länge ſämmtlicher Windungen der erſten Lage $\frac{b\pi}{u}(a+u)$, der zweiten $\frac{b\pi}{u}(a+3u)$ und allgemein der nten gleich $\frac{b\pi}{u}[a+(2n-1)u]$. Die Länge ſämmtlicher Windungen, d. h. die ganze auf dem Cylinder aufgewundene Drahtlänge S iſt demnach

$$S=\frac{b\pi}{u}[na+u+3u+\ldots(2n-1)u]$$

$$=\frac{b\pi}{u}\left\{na+[u+(2n-1)u]\frac{n}{2}\right\}=\frac{nb\pi}{u}(a+nu).$$

Sollen ſämmtliche Windungen nun die Dicke c haben, ſo iſt $n=\frac{c}{u}$ und daher

$$S=\frac{bc\pi}{u^2}(a+c).$$

Zu Folge 195 (7) wird der Leitungswiderſtand r dieſes Drahtes ausgedrückt durch $r=\frac{Sk}{u^2}$, wobei k den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand des Drahtes bedeutet. Wird für S der vorher gefundene Werth geſetzt, ſo erhält man

$$r=\frac{kbc\pi}{u^4}(a+c).$$

Iſt nun e die inducirende Kraft in einer Windung der Spirale, E jene aller Windungen eines Cylinders, ſo hat man

$$E=e\,.\,\frac{c}{u}\,.\,\frac{b}{u}=\frac{ecb}{u^2}$$

weil dieſe Kraft der Anzahl der Windungen proportional iſt und $\frac{c}{u}$ die über einander, $\frac{b}{u}$ die neben einander befindliche Anzahl derſelben bezeichnet.

Bekanntlich hat eine magneto-elektriſche Rotationsmaſchine zwei Eiſencylinder mit Drahtwindungen, aber die Verbindung der Windungen jedes Cylinders kann auf zweifache Weiſe bewerkſtelliget werden, nämlich entweder ſo, daß der inducirte Strom eine Spirale nach der andern durchlauft oder ſo, daß er ſich von der einen Spirale aus, wo er erzeugt worden, in zwei Theile theilt, wovon ein Theil die Windungen der anderen Spirale, der zweite Theil den Leiter durchſtrömt, wornach beide ſich wieder vereinigen. Iſt P′ die Stromſtärke für den

erſten Fall, ρ der Widerſtand des Stromes im Leiter außer den Windungen; ſo hat man, wenn der inducirte Strom erſt die eine und dann die andere Spirale durchlaufen muß,

$$P' = \frac{2E}{2r + \rho} = \frac{2ecb}{\frac{2kbc\pi(a+c)+\rho u^2}{u^2}}$$

Dieſer Werth wird offenbar am größten, wenn der Nenner des Bruches am kleinſten iſt. Dieſes iſt der Fall für $u^4 = \frac{2kbc(a+c)\pi}{\rho}$, wie man auf eine der in 200 gebrauchten ähnliche Weiſe oder beſſer durch ein eigenes, aber höhere Rechnungskenntniſſe erforderndes Verfahren findet. Dieſe Gleichung gibt nun für den betrachteten Fall die vortheilhafteſte Drahtdicke. Für den zweiten der vorerwähnten Fälle, wo ſich der inducirte Strom, ſo wie er die Spirale, in welcher er durch Induction erregt worden, verläßt, in zwei Arme, in den Leiter und die andere Spirale vertheilt, heiße der Widerſtand in der Spirale, wo er erzeugt worden r, in dem Leiter, den er nebſt der Spirale durchſtrömt ρ; ſo iſt der Widerſtand im anderen Arme der Schließung, den der Strom durchfließt, $\frac{r\rho}{r+\rho}$ und der inducirte Strom hat die Stärke P″, wofür man hat:

$$P'' = \frac{e}{\frac{r\rho}{r+\rho} + r} = \frac{e(r+\rho)}{r(2\rho + r)}$$

Von dieſem Strome geht durch den Leiter vom Widerſtande ρ ein Theil, der ausgedrückt wird durch

$$\frac{e(r+\rho)}{r(2\rho+r)} \cdot \frac{r}{r+\rho} = \frac{e}{2\rho + r}.$$

Setzt man nun für e und r die vorhin gefundenen Werthe, ſo hat man für den durch einen Eiſencylinder inducirten Strom im Leiter ρ den Ausdruck

$$1/_2\, P'' = \frac{ecbu^2}{kbc\pi(a+c) + \rho u^4}$$

und für den ganzen Strom

$$P'' = \frac{2ecbu^2}{kbc\pi(a+c) + 2\rho u^4}$$

Der Werth von u, der den ſtärkſten Strom gibt, wird gefunden durch die Gleichung

$$u^4 = \frac{(a+c)cb\pi}{2\rho}.$$

Hieraus folgt nun 1) daß der Draht deſto dünner genommen werden muß, je ſchlechter der Stoff, aus dem er beſteht, leitet; 2) daß ſeine Dicke vom Durchmeſſer des Eiſencylinders, von ſeiner Länge

und von dem Raume abhängt, der durch die Spiralwindungen erfüllt werden kann.

Nach ähnlichen Formeln berechnet man die günſtigſte Geſtalt der Spiralen beim Magnetiſiren durch den dieſelben durchfahrenden Strom. (Pogg. Ann. 47. 225.)

203. Die Formel (190) zeigt, daß der Strom eines Elektromotors von der elektromotoriſchen Kraft, von dem Widerſtande in der Kette und von dem des Schließungsleiters abhängt. Jede dieſer Größen geſtattet eine nummeriſche Beſtimmung und von dieſer ſoll nun hier gehandelt werden.

Zur Beſtimmung der elektromotoriſchen Kraft (der Größe E) hat man mehrere Mittel. Eines derſelben beſteht darin, daß man die Stromſtärke im betreffenden Elektromotor bei zwei verſchiedenen Leitungswiderſtänden des Schließungsleiters beſtimmt, und die Werthe in der Ohm'ſchen Formel ſubſtituirt. Iſt nämlich für einen Fall $P = \frac{E}{R + r}$, für den zweiten $P' = \frac{E}{R + r'}$ wo R den Widerſtand im Elektromotor, r und r′ jenen im Schließungsleiter bedeutet; ſo erhält man

$$R + r = \frac{P'}{P - P'} . (r' - r) \quad \text{und} \quad E = \frac{P P'}{P - P'} . (r' - r)$$

Kann man ſich mit der Kenntniß des Verhältniſſes zweier elektromotoriſchen Kräfte begnügen, ſo kann man dahin noch leichter gelangen. Man verbindet nämlich die zwei Elektromotoren, um deren elektromotoriſche Kraft es ſich handelt, einmal in gleicher, dann in entgegengeſetzter Richtung mit einander und beobachtet in beiden Fällen den daraus reſultirenden Strom, der im erſten Falle der Summe, im zweiten der Differenz der beiden einzelnen Ströme gleich ſeyn wird. Bezeichnet S jene Summe, D die Differenz, und ſind E und E′ die betreffenden elektromotoriſchen Kräfte, R und R′ die Widerſtände in den Elektromotoren; ſo iſt

$$S = \frac{E + E'}{R + R'}, \quad D = \frac{E - E'}{R + R'} \quad \text{und hieraus} \quad \frac{E}{E'} = \frac{S + D}{S - D}.$$

Dieſes Verhältniß kann man auch finden, indem man in jeder der zwei Ketten, um die es ſich handelt, einen ſehr großen Widerſtand r einſchaltet. Da iſt nämlich

$$P = \frac{E}{R + r}, \quad P' = \frac{E'}{R' + r}$$

und hieraus

$$\frac{E}{E'} = \frac{R + r}{R' + r} . \frac{P}{P'}$$

oder wenn $\frac{R + r}{R' + r}$ nahe $= 1$ iſt $\frac{E}{E'} = \frac{P}{P'}$.

Durch letzteres Verfahren hat Joule die elektromotoriſchen Kräfte einer großen Anzahl nach der Art von Daniell's conſtanter Kette

verbundener Elektromotoren beſtimmt. Folgende Tabelle enthält die von ihm erlangten Reſultate. Als Einheit (= 100) liegt denſelben eine gewöhnliche Daniell'ſche Zinkkupferzelle mit verdünnter Schwefelſäure und Kupfervitriol zum Grunde.

Negatives Element.	Poſitives Element.	Elektromotoriſche Kraft.
Platin mit Salpeterſäure . .	Kali amalgam. mit Kalilöſung .	302
Paſſives Eiſen mit » . .	Zink » » » .	220
Coaks . . . » » . .	» » » » .	225
Gold . . . » » . .	» » » » .	234
Platin . . . » » . .	» » » » .	234
» . . . » » . .	Eiſen » » » .	169
» . . . » » . .	Kupfer » » » .	120
» . . . » » . .	Silber » » » .	66
» . . . » » . .	Platin » » » .	31
» . . . » » . .	Zink amalgam. mit Kochſalzlöſung	198
» . . . » » . .	Eiſen » » » .	146
» . . . » » . .	Kupfer » » » .	116
» . . . » » . .	Silber » » » .	95
» . . . » » . .	Platin » » » .	55
» . . . » » . .	Zink amalg. mit Glauberſalzlöſung	187
» . . . » » . .	Eiſen » » » .	147
» . . . » » . .	Kupfer » » » .	92
» . . . » » . .	Silber » » » .	78
» . . . » » . .	Platin » » » .	17
» . . . » » . .	Zink amalg. mit Schwefelſäure verdünnt	187
» . . . » » . .	Eiſen » » » .	140
» . . . » » . .	Kupfer » » » .	91
» . . . » » . .	Silber » » » .	53
» . . . » » . .	Plotin » » » .	37
» mit Bleiperoxyd und Schwefelſäure	Zink amalg. mit Kalilöſung .	277
» » » » » .	Eiſen » . .	177
» mit Manganperoxyd und Schwefelſäure	Zink amalg. » . .	237
» mit Manganperoxyd und Salzſäure	» » . .	237
» mit doppelt chromſ. Kali .	» » . .	161
» » » » » .	» mit Schwefelſäure verdünnt	102
» mit doppelt chromſ. Kali und Schwefelſäure	» Kalilöſung » .	207
» mit doppelt chromſ Kali und Schwefelſäure	» Schwefelſäure » .	161
Kupfer » » » » .	» » » .	116
» » » » » .	» » » .	79
» mit Kupfervitriol . . .	» Kalilöſung » .	138
» » » . . .	Eiſen » . .	66
» » » . . .	Kupfer » . . .	33
» » » . . .	Zink amalg m. Kochſalzlöſung .	166

Negatives Element.	Poſitives Element.	Elektromotoriſche Kraft.
Kupfer mit Kupfervitriol . .	Eiſen mit Kochſalzlöſung . .	55
» » » . . .	Kupfer » . . .	28
» » » . . .	Zink amalg. m. Glauberſalzlöſung	164
» » » . . .	Eiſen » . .	59
» » » . . .	Kupfer » . .	8
» » » . . .	Zink amalg. m. Schwefelſ. verdünnt	100
» » » . . .	Eiſen » »	49
» » » . . .	Kupfer » »	4
Silberplatinirt » . . .	Zink amalg. » »	65
» » . . .	Eiſen » »	17
» » . . .	Zink amalg. m. Kochſalzlöſung .	68
» » . . .	» » Kalilöſung . .	98

Phil. Mag. Feb. 1844. p. 113.

204. Bei den ſo eben erwähnten Beſtimmungen der elektromotoriſchen Kräfte dauert der dazu nöthige Verſuch länger, als die Wirkſamkeit einer gewöhnlichen Kette für conſtant angenommen werden kann; ſie ſind daher nur für conſtante Ketten mit Sicherheit anwendbar. Für nicht conſtante taugt nur ein Verfahren, das nur wenige Augenblicke dauernde Verſuche fordert. Ein ſolches hat Poggendorff angegeben. Es beruht darauf, daß man die Kräfte der Ketten, worunter eine conſtante ſeyn muß und die nach der Art, wie dieſes in Fig. 265 dargeſtellt iſt, in Verbindung ſtehen, durch Verlängerung oder Verkürzung des Schließungsleiters dahin modificirt, daß eine die andere, deren elektromotoriſche Kraft man ſucht und mit der ſie im verkehrten Sinne verbunden iſt, gar nicht zur Wirkſamkeit kommen läßt, ſondern ſie gerade aufhebt, mithin ihr gleich iſt. Es ſey K Z (Fig. 265) eine gewöhnliche Zinkkupferkette, um deren elektromotoriſche Kraft es ſich handelt. Man verbinde mit derſelben eine conſtante, z. B. eine Grove'ſche Zinkplatinkette, deren elektromotoriſche Kraft man nach dem früher angegebenen Verfahren bereits kennen gelernt hat, ſo daß die Zinkplatten beider Ketten durch einen Draht a und die Zinkplatte der inconſtanten mit der Platinplatte der conſtanten durch einen Draht b communicire, endlich führe man von der Platinplatte der conſtanten Kette einen Draht c, der an irgend einer Stelle ein Galvanometer einſchließt und mit der inconſtanten Kette nur in momentaner Verbindung ſteht. Iſt letztere Verbindung hergeſtellt, ſo ſind die zwei Ketten gerade ſo mit einander combinirt, wie die Ketten PN und P′N′ in Fig 264, wie man ſich leicht überzeugt, wenn man den Ketten KZ, PZ dieſelbe Stellung gibt, welche PN und P′N′ haben. Der Draht a nebſt den Flüſſigkeiten in PZ leiſtet den Widerſtand, welcher in 199 mit R, und der Draht b jenen, welcher daſelbſt mit r bezeichnet worden iſt. Stehen dieſe Widerſtände R und r zu einander im rechten Verhältniſſe; ſo tritt im Drahte c, wenn man ihn mo-

mentan mit der Platte K verbindet, kein Strom ein, und die Nadel des Galvanometers wird nicht in Bewegung kommen, d. h. es iſt $P' = 0$. Erfolgt nun im Momente der Verbindung des Drahtes c mit K eine Bewegung der Nadel, ſo iſt das rechte Verhältniß zwiſchen den Längen der Drähte a und b nicht hergeſtellt und man wird aus der Richtung, in der dieſe Bewegung erfolgt, erkennen, ob man den Widerſtand in b vergrößern oder verkleinern, mithin b verlängern oder verkürzen müſſe, um jenes Verhältniß zu erhalten, bei welchem in c kein Strom Statt findet. Natürlich findet man dieſes nicht ohne beſonders glücklichen Zufall auf das erſte Mal und man wird mehrere Verkürzungen oder Verlängerungen des Drahtes b vornehmen müſſen, um dahin zu gelangen. Es muß aber bemerkt werden, daß man nach jedem Verſuche die inconſtante Kette einige Zeit ungeſchloſſen laſſen müſſe, um die durch die vorhergehende Schließung erzeugte Polariſation verſchwinden zu machen. Gut iſt es ſogar, nach jeder Schließung die negative Platte aus der Flüſſigkeit zu nehmen, ſie zu reinigen und wieder hinein zu ſtellen. Hat man das rechte Verhältniß der Drähte a und b gefunden, ſo berechne man nach (7) die reducirten Längen oder die Widerſtände R im Drahte a und den Flüſſigkeiten der conſtanten Kette, den Widerſtand r im Drahte b und den Widerſtand im Drahte c. Nach (199) folgt aus $P' = 0$ die Gleichung

$$E'(R + r) = Er$$

mithin

$$\frac{E'}{E} = \frac{r}{R + r}.$$

Hat man eine große Anzahl ſolcher Beſtimmungen zu machen und daher zu beſorgen, daß während der dazu nöthigen Zeit auch die conſtante Kette eine Veränderung erleide, ſo ſchalte man in den Draht b ein Galvanometer ein und beobachte den Strom in b in dem Augenblicke, wo jener in c auf Null gebracht worden. Dieſe Stromſtärke mit dem Widerſtande r im Drahte b multiplicirt gibt die geſuchte elektromotoriſche Kraft E′. Denn man hat, dem Vorhergehenden gemäß

$$E'(R + r) = Er$$

mithin

$$P'' = \frac{ER' + E'R}{S} = P \quad \text{oder wegen} \quad E' = \frac{Er}{R + r}$$

$$P'' = \frac{E}{S} \cdot \frac{RR' + R'r + Rr}{R + r} = \frac{E}{R + r} \quad \text{daher } E' = P''r.$$

205. Außer der elektromotoriſchen Kraft enthält die Formel für die Stromſtärke auch noch den Widerſtand in der Kette und jenen im Schließungsdrahte. Den Widerſtand in der Kette reducirt man auf den ihm gleichen Widerſtand eines Drahtſtückes vom Querſchnitte $= 1$ und aus einem Stoffe vom ſpecifiſchen Leitungswiderſtande $= 1$. Zu dieſem Behufe beobachtet man den Strom, welchen

die Kette gibt, wenn ſie durch Drähte von verſchiedener Länge geſchloſſen wird, drückt jedes Meſſungsreſultat durch eine Gleichung von der Form (2) aus und ſucht daraus die fragliche Größe. Man erhält nämlich für zwei Verſuche dieſer Art

$$P = \frac{E}{R + r} \quad \text{oder} \quad P (R + r) = E,$$

$$P' = \frac{E}{R + r'} \quad \text{oder} \quad P' (R + r') = E$$

und hieraus

$$R = \frac{P' r' - P r}{P - P'}.$$

Man kann eine größere Zahl von Beobachtungen bei verſchiedenen Längen der Schließungsleiter anſtellen, als unmittelbar zur Berechnung dieſer Größe nöthig iſt, und dann aus den erhaltenen Reſultaten einen Durchſchnitt nehmen oder das mit dem kleinſten Fehler behaftete nach den Geſetzen der Wahrſcheinlichkeitsrechnung beſtimmen. Mißt man vorläufig das Strommaximum P_0 der betreffenden Kette, wenn ſie ohne Zwiſchenleiter durch ſich ſelbſt geſchloſſen wird, und hierauf den Strom P bei verſchieden langen Zwiſchenleitern; ſo gelangt man mittelſt der Formel (192) zu einem Ausdruck für den Leitungswiderſtand in der Kette. Es iſt nämlich

$$P = \frac{R P_0}{R + r}.$$

Setzt man für r den Werth $\frac{k l}{q}$ und nimmt in dieſem $k = 1$, $q = 1$ ſo erhält man

$$P = \frac{R P_0}{R + l} \quad \text{und hieraus} \quad R = \frac{P l}{P_0 - P}.$$

Als Beiſpiel einer ſolchen Berechnung mag ein von Pouillet (Pogg. Ann. 42. 281) beobachteter Fall dienen. Dieſer Gelehrte fand die Stromſtärke P_0 einer durch ſich ohne Zwiſchenleiter geſchloſſenen einfachen Zinkkupferkette = 2.100; als er aber hinter einander kupferne Schließungsdrähte von der Länge l = 1, 2. 4, 8, 16 Meter eingeſchaltet hatte, nach der Reihe die Stromſtärken P = 0.707, 0.445, 0.132, 0.064. Es iſt daher

$$\text{für } l=1 \quad R = \frac{707}{2100-707} = \frac{707}{1393} = 0.51$$

$$\text{» } l=2 \quad R = \frac{445 \times 2}{2100-445} = \frac{890}{1655} = 0.54$$

$$\text{» } l=4 \quad R = \frac{243 \times 4}{2100-243} = \frac{972}{1857} = 0.52$$

$$\text{» } l=8 \quad R = \frac{132 \times 8}{2100-132} = \frac{1056}{1968} = 0.54$$

$$\text{» } l=16 \quad R = \frac{64 \times 16}{2100-64} = \frac{1024}{2036} = 0.51$$

mithin durchſchnittlich der Widerſtand in der Kette ſo groß, wie der Widerſtand in einem Kupferdrahte von der Dicke des gebrauchten Leiters und der Länge von 0.52 Meter.

206. Es erübrigt nun noch die Beſtimmung des Leitungswiderſtandes im Schließungsdrahte. Für dieſen erhält man aus der Formel (2) in 190 den Ausdruck $r = \frac{E - PR}{P}$ und da $r = \frac{kl}{q}$ iſt,

$$k = \frac{(E - PR)\,q}{Pl}.$$

k iſt nun der Leitungswiderſtand eines Drahtes von der Länge = 1 und dem Querſchnitte = 1 und daher $\frac{1}{k}$ die Leitungsfähigkeit desſelben.

Um dieſe Größe auf dem Erfahrungswege zu beſtimmen, braucht man eine Stromquelle, in welcher die erregende Kraft E und der Widerſtand R conſtante Größen ſind. Man kann den auf ſeinen Widerſtand zu unterſuchenden Körper in die Kette bringen, und die Stromſtärke P meſſen. Die Stromſtärke iſt dem Leitungswiderſtande verkehrt oder der Leitungskraft direct proportionirt. Um den mit der nummeriſchen Beſtimmung des Stromes verbundenen Schwierigkeiten auszuweichen, bringt man meiſtens den Strom durch Abänderung der Abmeſſungen, vorzüglich der Länge l des Leiters auf eine beſtimmte, ſich bei allen Verſuchen dieſer Art gleich bleibende Größe, wornach man an der Länge des Leiters eine reciprokes Maß des Leitungswiderſtandes oder ein directes der Leitkraft erhält. Die Hauptſache lauft demnach darauf hinaus, eine Stromquelle von conſtanter Kraft und unveränderlichem Widerſtand zu Gebote zu haben.

Eine Volta'ſche Kette nach Daniell's Conſtruction läßt ſich zwar längere Zeit hindurch bei einerlei Kraft erhalten, aber ein thermoelektriſches Element, wie das in (194) gebrauchte, deſſen Kraft ſich, ſo oft es nöthig iſt, immer wieder genau in derſelben Stärke herſtellen läßt und deſſen Leitungswiderſtand auch völlig unveränderlich iſt, übertrifft ein ſolches bei weiten. Darum ſtellt man Unterſuchungen über den Leitungswiderſtand der Körper am leichteſten mit einem thermoelektriſchen Erreger an. Ein Galvanometer läßt erkennen, ob der Strom, nachdem man den zu unterſuchenden Draht eingeſchaltet hat, die rechte Größe habe. Auch der momentan wirkende Strom, wie er durch Induction in einer Drahtſpirale mittelſt eines Magnetes erregt wird, läßt ſich bei zweckmäßiger Einrichtung des Mechanismus leicht bei beſtimmter Größe erhalten und demnach auch zu dem hier in Rede ſtehenden Zwecke benützen. Die meiſte Schwierigkeit hat man, Entladungen eines Conductors oder einer Leidnerflaſche auf eine beſtimmte Größe zu bringen. Darum haben auch Verſuche über den Leitungswiderſtand für ſolche Elektricität ihrer geringen Genauigkeit wegen ſtets einen zweifelhaften Werth. Die genaueſten Reſultate dieſer Art hat Rieß erhalten. Von dieſen war in 106 die Rede.

207. Nach den bisher angeſtellten Unterſuchungen iſt die Leitfähigkeit eines Metalles ohne Vergleich größer, als die des beſten flüſſigen Leiters. Bemerkenswerth iſt es, daß die Metalle die Elektricität leiten, ohne zerſetzbar zu ſeyn, während die meiſten andern Körper vom geleiteten Strome zerſetzt werden. Durch Temperaturerhöhung wird die Leitfähigkeit in einigen Körpern, wie z. B. in Metallen, geſchwächt, in anderen, wie z. B. im Schwefelſilber, verſtärkt; doch iſt dieſe Schwächung in verſchiedenen Metallen verſchieden und ſcheint nur bis zu einer beſtimmten Temperatur zu gehen, über welche hinaus jede weitere Steigerung der Temperatur die Leitfähigkeit wieder erhöht. Aus dieſen Geſetzen erklärt man mehrere überraſchende Erſcheinungen, z B. warum man eine Volta'ſche Säule leichter iſolirt, als den Conductor einer nur etwas kräftigen Elektriſirmaſchine; warum ein Zinkkupferelement im Waſſer eine Spannung zeigt, wie in der Luft; warum ein langer Polardraht von einer ſehr gut leitenden Maſſe bei derſelben Säule keine ſtärkere Ablenkung der Magnetnadel hervorbringt, als ein kürzerer von einer viel weniger leitenden Maſſe; warum ein dünnerer Draht leichter durch einen elektriſchen Strom glühend wird als ein dicker; warum ein nur ſchwach glühender Draht alſogleich lebhafter glüht, wenn man ihn an einer Stelle mit Eis umgibt; warum glühendes Glas, geſchmolzenes Siegellack, Pech, Wachs die Elektricität nicht mehr iſoliren ꝛc. Ob es für urſprünglich gleiche, aber von verſchiedenen Quellen kommende Ströme in demſelben Leiter verſchiedene Widerſtände gebe, und daher in dem elektriſchen Strome ähnliche Unterſchiede Statt finden, wie in den Strahlen des Lichtes und der Wärme, iſt nicht ausgemacht. (La Rive in Ann. de Chim. 37. 286; Pogg. Ann. 37. 235)

Die nummeriſchen Daten, welche man bei Unterſuchungen über das elektriſche Leitvermögen verſchiedener Körper fand, ſind folgende: Nach Becquerel: Kupfer = 100; Gold = 93.60; Silber = 73.60; Zink = 28.50; Platin = 16.40; Eiſen = 15.80; Zinn = 15.50; Blei = 8.30; Queckſilber = 3.45; Kalium = 1.33. Nach Ohm (der auch auf den Leitungswiderſtand der Säule Rückſicht nahm): Kupfer = 100; Gold = 57.4; Silber = 35.6; Zink = 33.3; Meſſing = 28.0; Eiſen = 17.4; Platin = 17.1; Zinn = 16.8; Blei = 9.7. Nach Davy: Silber = 109.1; Kupfer = 100; Gold = 72.7; Blei = 69.1; Platin = 18.2; Palladium = 16.4; Eiſen = 14.6. Nach Lenz: Kupfer bei 0° C. = 100.00. bei 100° C = 73.00, bei 200° C. = 54.82; Silber bei 0° = 136.25, bei 100° = 94.46, bei 200° = 68.72; Gold bei 0° = 79.79, bei 100° = 65.20, bei 200° = 54.49; Zinn bei 0° = 30.84, bei 100° = 20.44, bei 200° = 14.78; Meſſing bei 0° = 29.33, bei 100° = 24.78, bei 200° = 21.45; Eiſen bei 0° = 17.74, bei 100° = 10.87, bei 200° = 7.00; Blei bei 0° = 14.62, bei 100° = 9.6, bei 200° = 6.76; Platin bei 0° = 14.16, bei 100° = 10.93, bei 200° = 9.02. Das Minimum der Leitkraft findet Statt im Silber bei 3100°05 R. mit 59.00, im Kupfer bei 359°.00 mit 43.70, im Gold bei 349°.10 mit 50.06, im Zinn bei 169°.2 mit 13 64, im Meſſing bei 421°.50 mit 18.46, im Eiſen bei 278°.80 mit 6.01, im Blei bei 282°.6 mit 6.02, im Platin bei 295°.3 mit 8.41, jene des Kupfers bei 0° mit 100°00 angenommen. Nach Rieß: Kupfer = 100.00; Silber 148.74; Gold 88.87; Cad-

minium 38.35; Meſſing 27.70: Palladium 18.18; Eiſen 17.66; Platin 15.52; Zinn 14.70; Nickel 13.15; Blei 10.32; Neuſilber 8.86. (Becquerel in Schweigg. J. 44. 359. Ohm ebend. 44 245. 46; 137. Davy in Gilb. Ann 71. 251. Faraday in Pogg. Ann. 31. 225. Lenz ebend 34. 418; 45. 105. Rieß in Pogg. Ann 45. 20.) Marianini drückt das Leitvermögen der folgenden Salzlöſungen (in 100 Th. Waſſer) ſo aus, wie es die beigeſetzten Zahlen bezeichnen; Salzſ. Platin 418, Salpeterſäure 358, ſalzſ Gold 307, ſalp Silber 298, ſaures, ſalpeterſ. Queckſilberprotoxyd 278, ſchwefelſ. Kupfer 258, Schwefelſäure 239, Sauerkleeſäure 179, Salzſäure 164, eſſigſ. Kupfer 154, Salmiak 150, ſauerkleeſ. Kali 149, ſalzſ. Eiſenammoniak 136, Phosphorſ. mit phosphoriger Säure 127, ſalzſ. Kalk 110, Weinſteinſäure 98.66, weinſteinſ. Kali 92, Eſſigſäure 87, Citronenſäure 85.71, Alaun 85, ſalzſ. Natrum 84.79, ſchwefelſ. Kali 80, Salpeter 78.3, benzoeſ. Kali 76.56, Glauberſalz 74.2, melanſaures Ammoniak 71.15, Benzoeſäure 70.67. kohlenſ. Natrum 69.2, neutral. chlorſ. Kali 68.9, Kalicarbon 66.7, eſſigſ, Natrum 64.9, ſchwefelſ. Magneſia 62.04, ſaures weinſteinſ Kali 62.4, Eiſenvitriol 62 26, ſalzſ. Baryt 60, eſſigſ. Kali 59.3, ſalpeterſ. Kali 57, ſalzſ. Eiſenoxydul 56.53, Kali 55.68, chlorſ. Baryt 53 23, ſchwefelſ. Zink 51.64, Brechweinſtein 50.7, phosphorſaures Natrum 46, Borax 45.31 phosphorſ. Kali 44.74, Natrum 32.6, Aetzammoniak 26.45, Blauſäure 18.27, eiſenblauſ. Natrum 10.96, deſtill. Waſſer 1.00, Alkohol 0.323. Nach Förſtemann finden folgende Werthe Statt: Salzſäure 2.464, Eſſigſäure 2.398, Salpeterſäure 2.283. Ammoniak 2.177, Schwefelſäure 1.737, Kalilauge 1.709, Kochſalzlöſung 1.672, Bleizuckerlöſung 1.560, Meerwaſſer 1.000. Nach Pfaff iſt von den nachbenannten tropfbaren Flüſſigkeiten jede vorhergehende ein beſſerer Leiter als die nachfolgenden: Verdünnte Salzſäure, ſalzſ Platin ſalzſ. Eiſenoxyd, verdünnte Salpeterſäure, Salmiak, ſalpeterſ. Silber, conc. engl. Schwefelſäure, ſalpeterſ. Queckſilberoxyd, engliſche Schwefelſäure mit 4 Th. Waſſer, ſtarker Weineſſig, verdünnte Phosphorſäure, Zinkvitriol, Kupfervitriol, Alaun, ſalzſ. Zinnoxydul, Weinſteinſäure, Ammoniak (0.956), kleeſ. Kali, ſalpeterſ. Blei, Eiſenvitriol, eſſigſ. Kali, kohlenſ. Kali, ſalzſ. Mangan, benzoeſaures Kali, weinſteinſ. Kali, Borax, eſſigſaures Natrum, Brechweinſtein, ſchwefelſ. Mangan, chlorſ. Kali, ſchwefelſ. Talkerde, ſchwefelſ. Natrum, Chlorcalcium, Salpeter, ſchwefelſ. Kali, ſalzſ. Blei, eſſigſ. Blei, deſtill. Waſſer. (Marianini in Schweigg. J. 49. 22; 284. Förſtemann in Kaſt. Arch. 6. 82, Pfaff in Gehler's Wörterb. 6. 1. Abth 176.)

208. Man hat bei Volta'ſchen Ketten ſonſt auch noch einen eigenen Widerſtand annehmen zu müſſen geglaubt, der ſich beim Uebergange der Elektricität von einem feſten in einen flüſſigen Leiter ergibt. Allein neuere Unterſuchungen, beſonders die von Lenz angeſtellten (Pogg. Ann. 59. 407), haben gezeigt, daß die Annahme eines ſolchen Widerſtandes überflüſſig iſt, weil ſich die Erſcheinungen, welche man ſonſt als auf einen ſolchen Widerſtand hindeutend angeſehen hat, von der Polariſation der Platten, deren Exiſtenz nicht mehr bezweifelt werden kann, ableiten laſſen. Auch weichen die Erſcheinungen, die man von einem Uebergangswiderſtande abzuleiten geneigt war, in ihren Geſetzen von den ſonſtigen Widerſtandsphänomenen ab, indem ſie z. B. nicht den Querſchnitten des Leiters proportionirt ſind ꝛc.

Ueber dieſes Kapitel ſiehe, außer den bereits angeführten Quellen: Die galvaniſche Kette, mathematiſch bearbeitet von Ohm. Berlin 1827. Maßbeſtimmungen der galvaniſchen Kette von G. Th. Fechner. Leipzig 1831. Henrici in Pogg. Ann. 56. 277. Vorſſelman de Heer im Bulletin de sc. polyt. et nat. en Niederlande. 1839. p. 319.

Dreizehntes Kapitel.

Nähere Betrachtung der Mittel, Elektricität zu erregen.

209. Nachdem die Hauptwirkungen der Elektricität und die Geſetze, nach denen ſie ſich richten, an der Hand der Erfahrung betrachtet worden ſind, erübriget noch, die hauptſächlichſten Erregungsarten derſelben näher zu unterſuchen und daran Betrachtungen über die Urſache der Entwicklung durch jede dieſer Operationen anzuknüpfen. Hiezu iſt Nachſtehendes beſtimmt.

210. Das am längſten bekannte Mittel, Elektricität zu erregen, iſt die Reibung. So verſchieden auch die ſich reibenden Körper ſeyn mögen, ſo erhält doch jedesmal einer derſelben +E, der andere —E, in einem Grade, welcher durch mehrere bekannte Umſtände, aber auch durch einige uns unbekannte Urſachen beſtimmt wird. Gute Leiter geben beim Reiben leichter einen elektriſchen Strom, als eine Spannung, weil ſich die entwickelten Elektricitäten in dem Augenblicke, wo die Reibung aufhört oder auch nur nachläßt, neutraliſiren und daher nicht zu einer leicht und ohne Condenſation bemerkbaren Spannung anwachſen. In ſolchen Fällen bedient man ſich demnach zur Prüfung der Beſchaffenheit und Größe des erregten elektriſchen Zuſtandes eines Multiplicators. Iſt einer der ſich reibenden Körper ein guter, der andere ein ſchlechter Elektricitätsleiter, ſo läßt ſich die Elektricität leicht zu einer namhaften Spannung bringen und durch Elektroſkope mit oder ohne Condenſator wahrnehmen.

211. Die Menge der durch Reiben erregten Elektricität hängt von der Natur der ſich reibenden Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Geſchwindigkeit des Reibens und der dabei Statt findende Druck ſind wenigſtens beim Reiben des Glaſes ohne Einfluß. Schon die ſchwächſte Reibung erzeugt bemerkbare Elektricität. So z. B. werden Schwefelblumen und Mennig beim Fallen durch die Luft elektriſch; der aus einem beſtaubten Buche beim Zuſammenſchlagen desſelben erregte Staub macht ſchon die Goldplättchen eines Elektroſkops divergiren. Die hygroſkopiſche Beſchaffenheit der geriebenen Oberfläche iſt der Elektricitätsentwicklung hinderlich, darum taugen auch weiche (meiſt waſſerziehende) Gläſer zu Elektriſirſcheiben nicht gut, und bei feuchtem Wetter, wo ſelbſt hartes Glas mit einer dün-

nen Waſſerſchichte überzogen iſt, wirken ſelbſt gut eingerichtete Maſchinen ſchlecht; darum hilft das Abwiſchen mit warmen Tüchern ſo ſehr. Die Größe der ſich reibenden Flächen iſt nicht ohne Einfluß auf die Elektricitätsentwicklung; doch iſt es kaum möglich, gar große Flächen vollkommen mit einander in Berührung zu bringen. Wo man aber dieſes nicht erreicht, da hat man an den von der Berührung ausgeſchloſſenen Stellen nicht bloß Puncte, die keine Elektricität geben, ſondern ſolche, welche die Verbindung der zwei bereits entwickelten Elektricitäten begünſtigen. (Peclet in Ann. de Chim. 57. 337.)

212. Reibt man zwei Metallplatten auf einander, ſo hängt die Beſchaffenheit der Elektricität jeder Platte von der Natur derſelben ab. In der Metallreihe: Antimon, Arſenik, Cadmium, Eiſen, Zink, Iridium, Silber, Gold, Kupfer, Kobalt, Nickel, Zinn, Blei, Platin, Palladium, Wismuth iſt immer das vorhergehende poſitiv, das nachfolgende negativ elektriſch. Die Beſchaffenheit der Oberfläche, die Geſtalt der ſich reibenden Flächen, hat auf die Richtung des ſo erregten elektriſchen Stromes keinen Einfluß, nur das mechaniſche Zertheilen der Maſſe ſtört dieſe Ordnung und der zertheilte Körper hat in der Regel eine Neigung negativ zu werden, wie z. B. Feilſpäne gegen eine Metallplatte derſelben Natur; es gibt aber doch Fälle, wo das Gegentheil Statt findet. So z. B. iſt gepulvertes Antimon gegen eine Antimonplatte poſitiv. Metalloxyde und Sulphuride ſind in der Regel gegen ihre Metalle negativ. Die Wärme ändert oft die Beſchaffenheit der Reibungselektricität. (Becquerel in Ann. de Chim. 47. 116; La Rive in Pogg. Ann. 37. 225 und 506.)

Kupferfeile iſt negativ gegen Platten von Zink, Blei, Zinn, Eiſen, Wismuth, Antimon; mit Platin, Gold und Silber wird ſie gar nicht elektriſch; Zinkfeile aber iſt bei der Lufttemperatur poſitiv gegen Platin, Gold, Silber, Kupfer und Zinn.

213. Schlechte Elektricitätsleiter werden durch Reiben ſchon elektriſch, ſelbſt wenn ſie von einerlei Natur ſind und nur ihre ſich reibenden Flächen in einem verſchiedenen Zuſtande ſich befinden, wie z. B. mattes und polirtes Glas. Der Diſthen nimmt ſogar +E oder —E an, je nachdem man die eine oder die andere ſeiner Flächen mit Seide reibt. Im Allgemeinen hat es den Anſchein, als wenn jener Körper die größte Neigung für —E hätte, deſſen Theile am meiſten aus ihrer natürlichen Lage gebracht werden. Wenigſtens erklärt es ſich daraus, warum von zwei Seidenbändern, die über Kreuz gerieben werden, das nach der Länge der Faſern bewegte poſitiv, das quer bewegte negativ elektriſch wird; warum die Wärme die Körper geneigt macht, negativ elektriſch zu werden; warum Seide ſchnell in der Luft bewegt, poſitiv und daher die Luft ſelbſt negativ elektriſch wird. Cavallo hat es verſucht, die Nichtleiter in Bezug auf die Beſchaffenheit der von ihnen erregten Reibungselektricität zu ordnen, und hat ſie in folgende Reihe, vom elektro-poſitivſten angefangen, zuſammengeſtellt:

Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas.

214. Die reichlichſte Elektricitätsentwicklung findet Statt, wenn man einen ſchlechten Leiter mit einem guten reibt; wenigſtens erhält man die ſo erzeugte Elektricität am leichteſten im freien Zuſtande. Dieſes erläutert am beſten die Elektriſirmaſchine. Dabei brauchen die ſich reibenden Körper eben nicht feſt zu ſeyn. Eine Glasplatte wird ſchon elektriſch, wenn man ſie in Queckſilber taucht und wieder ſchnell heraus zieht oder durch einen Blasbalg einen Luftſtrom darauf bläſt. Neueſtens hat man ſehr namhafte Mengen Elektricität dadurch entwickelt, daß man waſſerführenden Dampf durch ein eiſernes Rohr hat ausſtrömen laſſen, und Faraday hat unwiderſprechlich dargethan, daß dieſe Elektricität von Reibung des Waſſertheilchen am Metall herrühre.

Ueberhitzter Dampf, der beim Austreten keine Waſſertröpfchen mit ſich führt, erregt keine Elektricität; ſolcher, der mit Waſſertröpfchen gemengt iſt, erzeugt um ſo mehr, je heftiger der Dampf ausſtrömt. Nur Dampf von reinem (ſchlecht leitendem) Waſſer entwickelt Elektricität, ein Zuſatz von Salzen oder Säuren, die das Waſſer leitend machen, hindert dieſe Entwicklung. Im Allgemeinen erſcheint der Dampf oder das Waſſer poſitiv, das Ausſtrömungsrohr und was damit leitend zuſammenhängt, negativ; miſcht man Terpentinöhl zum Waſſer, ſo tritt das umgekehrte Verhältniß ein. Statt Dampf kann man auch waſſerführende Luft ausſtrömen laſſen, ohne daß der Erfolg anders ausfällt. Man hat die Entwicklung der Elektricität durch Reibung fein vertheilten Waſſers an guten Leitern dazu benützt, um eine hydroelektriſche Elektriſirmaſchine zu conſtruiren. Ein 6½ F. langer, 3½ F. im Durchmeſſer haltender cylindriſcher Dampfkeſſel mit innerer Heizung und einem Röhrenſyſtem gleich dem Keſſel eines Locomotives wurde ſo eingerichtet, daß der Dampf durch 46 eiſerne Röhren, in denen durch die Kälte der äußern Luft Waſſer niedergeſchlagen wurde, gegen eine Reihe von Metallſpitzen ausſtrömen konnte. Der Keſſel war durch Glasſtützen iſolirt, die die Elektricität des Dampfes umfaſſenden Spitzen aber ſtanden mit der Erde in leitender Verbindung. Durch dieſen Apparat erhielt man alle Wirkung einer gewöhnlichen guten Elektriſirmaſchine, unter andern Funken von 22 Z. Länge. (Armſtrong in Pogg. Ann. 52. 328; 60. 348 und 352; Faraday ebend. 60. 321.)

215. Der innere Grund der Elektricitätsentwicklung durch Reibung iſt völlig unbekannt. Die beim Reiben entwickelte Wärme ſcheint nicht zugleich die Quelle der Elektricität zu ſeyn, weil dieſe nicht in dem Maße reichlicher entwickelt wird, in welchem ſich die Temperatur beim Reiben ſteigert. Der Umſtand, daß ſich beim Reiben ein eigenthümlicher Geruch verbreitet und daß das Amalgam auf den Reibzeugen der Elektriſirmaſchine ein ſehr leicht oxydirbarer Körper ſeyn muß, führte zwar auf die Vermuthung, die Reibung leite einen Oxydationsprozeß ein, und dieſer ſey die eigentliche Quelle der Elektricität. Aber Davy's Verſuche, bei welchen ſich ergab, daß eine kleine Elektriſirmaſchine in Waſſerſtoffgas, in kohlenſaurem Gas ꝛc. Elektricität entwickle, und in letzterem ſogar mehr als in atmoſphäriſcher Luft, ſind dieſer Anſicht entgegen. Das Wahrſcheinlichſte iſt, daß

die durch Reibung erzeugte Molecularbewegung die erſte Quelle der Elektricität ſey.

216. Ein anderes Erregungsmittel der Elektricität iſt die durch den Druck bewirkte Annäherung ihrer Theile. Schon vor vielen Jahren haben mehrere Phyſiker hierüber Verſuche angeſtellt und mehrere Körper gefunden, welche durch Druck merklich elektriſch werden. Insbeſondere fand dieſe Eigenſchaft Haüy in einem hohen Grad an kleinen Doppelſpathen. In dieſen kann man durch bloßen Druck zwiſchen den Fingern +E erregen. Eben ſo hat Libes bemerkt, daß eine iſolirte Metallſcheibe —E erhält, wenn man ſie an gefirnißten Taffet andrückt. Deſſaignes hat dieſe Verſuche noch mehr erweitert. Deßungeachtet wußte man noch nicht, ob die Fähigkeit, durch Druck elektriſch zu werden, allen oder nur einigen Körpern zukomme, bis durch Becquerel's Unterſuchungen die wichtige Wahrheit völlig ſicher geſtellt wurde, daß durch Druck jeder Körper in einen elektriſchen Zuſtand verſetzt werden kann. Becquerel verfertigte aus dem zu unterſuchenden Körper ein Scheibchen, befeſtigte es mittelſt Siegellack an ein Glasſtäbchen, das zur Vermeidung der Elektriſirung durch etwaige Reibung mit einer hölzernen Handhabe verſehen war, überzeugte ſich zuerſt, daß hieran gar keine freie Elektricität hafte, und drückte nun das Scheibchen an ein zweites eben ſo befeſtigtes, iſolirtes oder an einen andern beliebigen Körper. Verſuche, die er auf dieſe Weiſe mit vielen Körpern, z. B. mit Korkholz, Hollundermark, Kautſchouk, Orangeſchalen, Stärkmehl, Doppelſpath, Gips, Flußſpath, Schwerſpath, mit mehreren Metallen und ſelbſt mit eingedickten Flüſſigkeiten angeſtellt hat, lehrten, daß die an einander gedrückten Körper, wenn ſie iſolirt ſind, entgegengeſetzte Elektricitäten zeigen; iſt aber nur einer davon iſolirt, ſo gibt zwar dieſer immer Spuren freier Elektricität, aber am andern ſind die der entgegengeſetzten nur dann merklich, wenn er ein ſchlechter Leiter iſt. Welcher von beiden poſitiv oder negativ elektriſch wird, ſcheint vom Verhältniſſe ihrer Elaſticität abzuhängen. Die Menge der Elektricität wird durch die Natur der zuſammengedrückten Körper, durch die Leitfähigkeit, Temperatur und Beſchaffenheit der Oberfläche der gedrückten Stoffe beſtimmt. Blätteriger Gips wird durch Druck viel ſtärker elektriſch als Kalkſpath. Körper, die ſich ſtark adhäriren, geben mehr Elektricität als ſolche, die dieſes nur in einem geringen Grade thun. Bei denſelben Körpern und einem mäßigen Drucke iſt die entwickelte Elektricitätsmenge dem Drucke nahe proportionirt, ſobald auch die Berührungsflächen in dieſem Verhältniſſe wachſen. Je geringer die Leitfähigkeit der zuſammengedrückten Körper iſt, deſto größer wird die Menge der frei gewordenen Elektricität bei übrigens gleichen Umſtänden. Drückt man einen guten und einen ſchlechten Leiter an derſelben Stelle mehrere Male hinter einander mit veränderter Stärke zuſammen, ſo findet man bei der Trennung eine Elektricität von ſolcher Stärke, wie ſie dem ſtärkſten Drucke entſpricht. Bei guten Leitern vereinigen ſich die entgegengeſetzten Elektricitäten im Augenblicke, wo der Druck aufhört, und man

kann nur durch eine ſehr ſchnelle Trennung der Körper einen Theil der frei gewordenen Elektricität retten; je geringer aber ihr Leitungsvermögen iſt, deſto weniger braucht man bei der Trennung eilig zu verfahren, um noch freie Elektricität wahrzunehmen. Uebrigens wird aber doch bei einerlei Leitungsvermögen, und bei einerlei Druck die Menge der Elektricität mit der Schnelligkeit der Trennung im geraden Verhältniſſe ſtehen. Dieſes bemerkt man beſonders, wenn man eine Kork- und eine Orangenſcheibe zuſammendrückt, und ſie bald ſchneller, bald langſamer von einander trennt. Den Einfluß der Temperatur auf die Elektricitätserregung beweiſet der Umſtand, daß zwei Korkſcheiben, die man durch Entzweiſchneiden eines Stückes erhalten hat, in dem Falle, wo ſie durch einen Druck keine elektriſche Ladung annehmen, ſich mit Erfolg in die allgemeine Regel fügen, ſobald eines dieſer Stücke erwärmt wird. Dasſelbe zeigen zwei Doppelſpathe. Läßt man aber den Druck ſo lange anhalten, bis beide Körper wieder dieſelbe Temperatur angenommen haben, ſo wird man ſie ohne die geringſte Spur der Elektricität von einander trennen. Der Feuchtigkeitszuſtand modificirt die Menge der frei gewordenen Elektricität bedeutend; denn man findet, daß z. B. Schwerſpath, Gips, Glimmer u. ſ. w. immer dann nach dem Drucke merkliche Elektricität zeigen, wenn ſie früher abgetrocknet wurden. Die Beſchaffenheit der Oberfläche hat in ſo weit auf die hier zu erörternden Phänomene Einfluß, als ſie die Leitfähigkeit ändert. So wird z. B. der ſonſt ſchlecht leitende Doppelſpath ein guter Leiter der Elektricität, wenn man ihm ſeine Politur benimmt, und behält dann nur im iſolirten Zuſtande ſeine Elektricität. (Gilb. Ann. 73. 117; Pogg. Ann. 12 174.)

217. An die Elektricitätserregung durch Druck ſchließt ſich unmittelbar die durch Trennung der Theile an. Ein Glimmerplättchen, das geſpalten wird, zeigt im Dunkeln ein lebhaftes Licht, Zucker und Kreide thun beim Zerſtoßen dasſelbe. Daß dieſes elektriſchen Urſprunges ſey, erkennt man daraus, daß wenn man an einem Glimmerplättchen die Spaltung nur an einem Ende macht, hierauf die Blätter an iſolirte Handgriffe befeſtiget und mit dieſen die Trennung vollendet, dieſe Blätter ſich merklich elektriſch zeigen. So wie Glimmer verhalten ſich alle blätterigen und überhaupt alle vollkommen kryſtalliſirten Körper, wenn ſie rein geſpalten, nicht zerriſſen oder gebrochen werden; doch geſchieht dieſes nicht beim Spalten nach jedem, ſondern nur nach einem beſtimmten Blätterdurchgange. So z. B. erſcheinen Theilungsſtücke eines Topaſes nur dann elektriſch, wenn die Spaltung nach dem auf der Hauptaxe ſenkrechten Blätterdurchgange vorgenommen wurde. Das Elektriſiren durch Spalten iſt dem durch Drücken ſehr ähnlich. Denn wird z. B. ein Glimmerblatt geſpalten und dann jeder der zwei Theile durch Berühren mit der Hand ſeiner Elektricität beraubt, dann aber wieder zuſammengedrückt; ſo findet man ſie wieder nach dem Auseinandernehmen eben ſo elektriſch, wie nach der urſprünglichen Trennung (Pogg. 12. 150.) Nach Dumas zeigt Borſäure, die in einem Platintiegel geſchmolzen worden iſt,

hierauf aber feſt wird und kleine Sprünge bekommt, an jedem Sprunge ein lebhaftes Licht, das man ſelbſt bei Tage bemerken kann. In einer Bewegung, wie ſie bei der Trennung der Körpertheile Statt hat, ſcheint auch das Elektriſchwerden vibrirender Platten ſeinen Grund zu haben. (Compt. rend. 6. 48. Pogg. Ann. 43. 187.)

218. Der innere Grund der Elektricitätsentwicklung beim Drücken oder Spalten eines Körpers dürfte wohl auch wie jener der Elektricitätsentwicklung durch Reiben zunächſt in der dabei Statt findenden Molekularbewegung zu ſuchen ſeyn. Wenn die elektriſche Polarität in einer eigenthümlichen Anordnung der Moleküle der Körper begründet iſt, wird die Wirkſamkeit dieſer Erregungsarten wohl begreiflich.

219. Eine oft wirkſame, wenn auch nicht zu auffallenden Elektricitätsmengen führende Quelle iſt die Temperaturänderung. Schon im Kap. 11 war von der durch Erwärmung und Erkältung der Metalle erregten Elektricität die Rede; weil man aber da nur mit guten Leitern zu thun hatte, ſo lernte man dieſe Elektricität auch nur im Zuſtande der Bewegung als thermo-elektriſchen Strom kennen. Es werden aber auch ſchlechte Leiter durch Temperaturänderung elektriſch, und bei dieſen läßt ſich dann elektriſche Spannung nachweiſen. Bringt man am Deckel eines guten Condenſators einen Platindraht an, deſſen über den Deckel hervorragendes Stück ſpiralförmig zuſammengewunden iſt, und erhitzt man dasſelbe zum Rothglühen; ſo findet man, wenn man die Baſis des Condenſators mit der Hand und die Spirale mit einem feuchten Papiere oder mit einem durch Hitze leitend gemachten Glasſtabe berührt, den Condenſatordeckel negativ, den Papierſtreifen oder den Glasſtab poſitiv-elektriſch (Zeitſchr. 10. 200.) Vorzüglich bemerkenswerth ſind aber gewiſſe Kryſtalle, die an beſtimmten Stellen beide Elektricitäten hervortreten laſſen, während ſie einer Temperaturänderung unterliegen. Man nennt ſie pyroelektriſche Kryſtalle; die Stellen, an denen die entgegengeſetzten Elektricitäten auftreten, heißen Pole, und die Linie, welche die Pole verbindet, elektriſche Axe. Ein Pol, der ſich beim Erwärmen als den poſitiv elektriſchen zeigt, wird beim Erkalten der negativ elektriſche oder umgekehrt, und es nimmt daher jeder Pol ſowohl den poſitiven als den negativen Zuſtand an, doch hängt es von der Natur der Kryſtalle ab, ob ein beſtimmter Pol durch Erwärmen oder durch Erkalten der poſitive wird. Rieß und G. Roſe nennen einen Pol, der durch Erwärmen poſitiv, durch Erkalten negativ wird, einen analogen, jenen, der durch Erkalten poſitiv, durch Erwärmen negativ wird, einen antilogen. Manche pyroelektriſche Kryſtalle haben nur eine elektriſche Axe, andere deren mehrere; dieſe gehen nicht immer durch den Mittelpunct des Kryſtalls und fallen wohl oft, aber nicht immer, mit kryſtallographiſchen Axen zuſammen; meiſtens ſchließen ſie Winkel ein, es gibt aber auch Fälle, wo von zwei Axen eine in der Verlängerung der andern liegt. Dann erſcheinen an den Enden einer Linie zwei gleiche Pole, die zwei andern liegen hiemit im Innern des Kryſtalles.

Eines der auffallendſten und am längſten bekannten Beiſpiele eines pyro-elektriſchen Kryſtalles liefert der Turmalin. Wird nämlich ein ſolcher, beſonders wenn er im Inneren rein und nicht zerklüftet iſt, und zu der hell gefärbten durchſichtigen Varietät gehört, bis 30° C. gleichmäßig erwärmt, ſo erſcheint er an einer Hälfte poſitiv, an der andern negativ, ſeine elektriſche Axe fällt mit der kryſtallographiſchen ſeines ſechsſeitigen Prismas zuſammen und das Ende, wo die Flächen des Hauptrhomboeders auf den Kanten des dreiſeitigen Prismas aufſitzen, enthält den antilogen Pol. Die Stärke ſeiner Elektricität wächſt zwar mit der Erwärmung und Erkaltung, doch iſt ſie der Erwärmungs- oder Erkaltungsgeſchwindigkeit nicht proportionirt. Iſt nur ein Theil eines Turmalins im Erwärmen oder Erkalten begriffen, ſo verhält ſich der ganze Kryſtall ſo, als beſtünde er aus zwei Theilen, deren jeder für ſich einen eigenen, ſelbſtſtändigen, elektriſchen Zuſtand annimmt und der Zuſtand eines Theiles iſt jenem des anderen entgegengeſetzt. Zerſchneidet man einen Turmalin, während er elektriſch iſt, ſo erſcheint jedes Stück deſſelben mit einer poſitiven und einer negativen Hälfte, und zwar haben die Flächen, welche mit einander verbunden waren, entgegengeſetzte Elektricität. Man kann einen Turmalin ſelbſt zu Pulver zerſtoßen, und doch wird jedes Theilchen Zeichen des zweifachen elektriſchen Zuſtandes von ſich geben. Es ſind aber nicht alle Turmaline der elektriſchen Erregung durch Wärme in gleichem Grade fähig, in der Regel werden die kleinſten am leichteſten elektriſch. Turmaline, welche einer ſtarken Elektriſirung fähig ſind, werden durch ſchnelle und durch langſame Erwärmung gleich elektriſch. Ein Beiſpiel eines pyro-elektriſchen Kryſtalles mit mehreren Axen liefert der Borazit und der Rhodizit, deren jeder vier ſolche Axen hat; ſie fallen mit den rhomboedriſchen Axen des Hexaeders zuſammen. Einen Kryſtall mit gegen einander gekehrten elektriſchen Axen liefert der Topas; ſie liegen in der Richtung der kurzen Diagonale der Baſis des Prisma's. Die zur Elektricitätserregung nöthige Temperaturgrenze iſt nicht bei allen Kryſtallen gleich. Der Turmalin braucht eine Wärme von 30° C. Galmei iſt ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme elektriſch. (Zeitſchr. 4. 356. Schweigg. J. 43. 87. Pogg. Ann. 13. 623. G. Roſe ebend. 39. 285. 59. 353.)

220. Die meiſte Aufmerkſamkeit verdient wohl jene Elektricitäts-Quelle, aus welcher die ſogenannte galvaniſche Elektricität entſpringt. Veranlaſſung zum Hervortreten dieſer Elektricität iſt wohl die Berührung heterogener Stoffe und zwar ſolcher, die dem elektriſchen Strom einen ungleichen Widerſtand entgegen ſetzen; allein man iſt noch nicht darüber einig, ob die Berührung auch die Urſache der Elektricitätsentwicklung ſey (Contacthypotheſe) oder ob dadurch erſt ein Prozeß, wie z. B. ein chemiſcher (chemiſche Hypotheſe) möglich gemacht oder eingeleitet werde, der als eigentlicher Erzeuger der E angeſehen werden muß.

221. Die Anhänger der Contacthypotheſe nehmen an, es werde durch Berührung der Metalle unter ſich eine elektromotoriſche

Kraft geweckt, deren Wirkſamkeit darin beſteht, das elektriſche Princip in den ſich berührenden Körpern zu zerſetzen und einen beſtimmten Antheil +E in dem einen, einen entſprechenden Antheil —E in dem andern Metalle anzuhäufen und deren Wiedervereinigung über die Grenze der Berührungsſtelle zu verhindern. Die Spannungsreihe der Metalle und der feſten Leiter ſtellt die relative Größe dieſer Kraft zwiſchen zwei Stoffen der Reihe dar. Flüſſige Körper können theilweiſe zwar mit flüſſigen oder feſten auch eine ſolche Kraft wecken, aber dieſe iſt in vielen Fällen anderer Natur, als die vorher genannte, und darum geben viele flüſſige Stoffe unter ſich und mit feſten keine Spannungsreihe, aber die geſammte, in einem Elemente, d. i. in zwei Erregern und einem flüſſigen Leiter, frei gewordene Elektricität begreift nicht bloß die durch Berührung der Metalle, ſondern auch die durch Berührung eines Metalles mit der Flüſſigkeit erregte Elektricitätsmenge. Werden mehrere Paare von Elektromotoren mit einem flüſſigen Leiter zu einer Säule zuſammengeſtellt, ſo iſt jeder flüſſige Körper ſowohl, als jeder Elektromotor zugleich ein Leiter der Elektricität; er nimmt davon aus der Umgebung ſo viel E auf, als das Gleichgewicht fordert, und leitet ſie weiter, und das, was ein Körper auf ſolche Weiſe durch Mittheilung an die übrigen verloren hat, erſetzt die elektromotoriſche Kraft wieder. Daher kommt es, daß eine ſolche Saule eine der Anzahl ihrer Plattenpaare proportionirte elektriſche Spannung annimmt. Werden die Enden einer Säule durch einen metalliſchen oder flüſſigen Leiter mit einander verbunden, ſo entſteht ein Strom, deſſen Intenſität, eben weil er lediglich der Spannung an den Polen ſeinen Urſprung verdankt, dieſer Spannung nothwendig proportionirt iſt. Die Elektrolyſirung iſt Folge des Stromes, ohne irgend etwas zu demſelben beitragen zu können.

Man muß die Anſicht, welche gegenwärtig Volta's Namen führt, von jener unterſcheiden, die dieſer große Phyſiker ſelbſt ausſprach. Fortgeſetzte Erfahrungen mußten natürlicher Weiſe dieſelbe mehr ausbilden, auch theilweiſe berichtigen; doch das Princip derſelben iſt unverändert geblieben. Volta theilte die Elektricitätsleiter in Elektromotoren und bloße Leiter. Erſtere, wozu er die Metalle zählte, ſtellte er in die Spannungsreihe; die letzteren, durchgehends flüſſige Körper, ſchloß er davon aus. Das Grundgeſetz der Spannungsreihe, daß nämlich die Spannung oder elektriſche Differenz zweier entfernteren Glieder der Summe der Spannungen der dazwiſchen liegenden Paare gleich komme, wird bezüglich der Metalle durch den Umſtand gerechtfertiget, daß eine in ſich zurückkehrende Reihe derſelben bei gleicher Temperatur keinen Strom gibt. Neuere Erfahrungen nöthigen dieſes Geſetz auch auf Flüſſigkeiten, die gute Elektricitätsleiter, ja ſogar Elektrolyte ſind, z. B. Schwefelkaliumlöſung, verdünnte ſalpetrige Säure u. dgl. auszudehnen, weil ſich Zuſammenſtellungen derſelben mit Elektomotoren angeben laſſen, in welchen ſich gar kein Strom zeigt. Was die Spannungsreihe ſelbſt betrifft, ſo gibt ſie, an ſich genommen, gar keinen Anhaltspunct zur Beurtheilung der Wirkſamkeit einer Combination in der Volta'ſchen Kette; ſondern es iſt nöthig, auf die Flüſſigkeiten zu achten, welche als Leiter dienen; dieſe modificiren den Erfolg dergeſtalt, daß für jede Flüſſigkeit, womit eine Kette

geladen werden ſoll, eine eigene Spannungsreihe aufgeſtellt werden muß. Allein damit geht der Vortheil, den Volta's ſchöner Gedanke bringen ſollte, gänzlich verloren.

222. Soll eine Hypotheſe nur auf einige Anerkennung rechnen, ſo muß ſie wenigſtens die Hauptphänomene, zu deren Erklärung ſie aufgeſtellt worden, leicht und einfach erklären. Es liegt in der Natur der Contacthypotheſe, daß ſie ſich der Erklärung, wie durch Berührung der Leiter Elektricität entſtehe, entſchlagen kann, da eben dieſes Factum die Annahme einer elektromotoriſchen Kraft veranlaßt; aber was aus dieſer Annahme folgt, muß erklärt werden. Dahin gehört vorzüglich die verſtärkte Kraft einer Batterie im Verhältniß zur einfachen Kette.

Nachſtehende Betrachtung wird zeigen, wie man nach der Contacthypotheſe die gegen die Pole hin Statt findende Zunahme der Spannung in einer iſolirten Säule rechtfertigt: Es ſey in einem Plattenpaare aus Zink und Kupfer die Elektricitätsmenge des Zinkes + a, die des Kupfers — a, und man bringe auf die Kupferplatte einen leitenden, feuchten Lappen L, den wir vor der Hand als nicht elektromotoriſch wirkend anſehen wollen. Dieſer nimmt von der Kupferplatte ſo viel Elektricität auf, daß er mit ihr eine gleiche Spannung erhält, dieſer Verluſt wird aber im Kupfer augenblicklich durch die fortwährend thätige elektromotoriſche Kraft wieder erſetzt und ſein Elektricitätszuſtand iſt wieder — a. Es haben daher die Theile der Säule Z K L in der Ordnung, wie ſie auf einander folgen, die Elektricitäten + a, — a, — a. Legt man auf L eine zweite Zinkplatte Z, ſo nimmt auch dieſe durch den feuchten Leiter an der Elektricität der erſten Kupferplatte Theil, und der Zuſtand der Säule Z K L Z iſt in ihren einzelnen Theilen folgender: + a, — a, — a, — a. Nun lege man auf Z ein zweites K. Als Leiter nimmt dieſes K die Elektricität — a an, als Erreger erhält es abermals — a, das Z bekommt + a, und dieſes + a wird allen rückwärts befindlichen Gliedern mitgetheilt, ſo daß demnach in der Säule folgende elektriſche Zuſtände Statt finden:

	Z	K	L	Z	K
Das erſte Element als Erreger, das zweite als Leiter	+ a,	— a,	— a,	— a,	— a.
Das zweite Element als Erreger, das erſte als Leiter	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a.
Beide Elemente als Leiter und Erreger	+ 2a,	0	0	0	— 2a.

Auf ähnliche Weiſe erhält man in einer Säule aus drei Elementen folgende Elektricitätszuſtände der einzelnen Theile:

	Z	K	L	Z	K	L	Z	K
Das erſte Element als Erreger, die übrigen als Leiter	+ a,	— a,	— a,	— a,	— a,	— a,	— a,	— a.
Das zweite als Erreger, die übrigen als Leiter	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a,	— a,	— a,	— a.
Das dritte als Erreger, die übrigen als Leiter	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a.
Alle drei Elemente als Leiter und Erreger	+ 3a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a,	— a,	— a,	— 3a.

Es nimmt demnach die Spannung ſowohl der Zink- als der Kupferplatten von ihrem Pole an nach der entgegengeſetzten Seite ab, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, gerade wie es die Erfah-

rung zeigt. Die Differenz zwiſchen der letzten Zink- und Kupferplatte iſt hier = 6 a. Steht aber die Kupferplatte mit der Erde leitend in Verbindung, ſo iſt ihre Spannung = 0; und daher, wenn dieſelbe elektriſche Differenz zwiſchen den äußerſten Platten Statt finden ſoll, jene der äußerſten Zinkplatte = 6 a, doppelt ſo groß als vorhin. Hier iſt aber auf die elektromotoriſche Kraft des flüſſigen Leiters keine Rückſicht genommen worden. Kommt auch dieſe in Rechnung, ſo wird dadurch die Elektricität der Säule größer oder kleiner, je nachdem die elektromotoriſche Kraft der Flüſſigkeit jene der feſten Erreger unterſtützt oder ihr entgegen wirkt.

223. Die Hypotheſe des chemiſchen Urſprunges der Elektricität hat ihre Hauptvertheidiger an Faraday und La Rive. Nach den Hauptmomenten läßt ſie ſich folgendermaßen darſtellen: 1) Wenn zwei Körper chemiſch auf einander wirken, wird Elektricität frei. Dieſer Satz iſt für Fälle erwieſen, wo die chemiſche Wirkung energiſch erfolgt und wo die Leitungsfähigkeit der betreffenden Stoffe erlaubt, daß die E in ein Elektroſcop oder ein Galvanometer abgeleitet werde. 2) Sowohl chemiſche Verbindung als chemiſche Zerlegung iſt mit Elektricitätsentwicklung verbunden; aber die bei erſterem Prozeſſe frei werdende E iſt der bei letzterem entwickelten entgegengeſetzt. Bei einer Verbindung einer Säure mit einem Alkali erſcheint erſtere poſitiv, letztere negativ elektriſch und daher muß eine aus einer Verbindung ausgeſchiedene Säure negativ, ein ausgeſchiedenes Alkali poſitiv elektriſch ſeyn. Eben ſo wird ein ſich oxydirender Körper poſitiv, derjenige, welcher das Oxygen dazu liefert, negativ elektriſch. Bei der gegenſeitigen Zerlegung zweier Neutralſalze kann keine Elektricität frei werden, weil ſich die, beiden Prozeſſen, der Zerlegung und Verbindung entſprechenden Elektricitätsbeträge gegenſeitig tilgen. 3) Bei der Volta'ſchen Kette iſt die Oxydation des Zinks oder ſeines Stellvertreters und die Desoxydation des flüſſigen Leiters, gewöhnlich des Waſſers, die Quelle der Elektricität, und es wird daher das Zink poſitiv, das damit verbundene, mit der Flüſſigkeit in Berührung ſtehende Metall durch letztere negativ elektriſch. Bloße Oxydation durch ſchon freien Sauerſtoff reicht hiezu nicht hin. Wird ein Zinkplatinelement in Berührung mit trockener Luft auch bis zum Glühen erhitzt und dadurch eine ſehr raſche Oxydation des Zinkes bewirkt, ſo zeigt doch dieſes Element kein freie E. Eben ſo wenig wird an einem ſolchen E bemerklich, wenn man es in flüſſiges Chlor taucht. Hieraus erklärt es ſich, warum der flüſſige Körper bei einer Volta'ſchen Kette immer ein Elektrolyt ſeyn muß. 4) Die in einer Kette bemerkbare Electricität iſt immer nur ein Theil derjenigen, welche durch den chemiſchen Prozeß frei geworden iſt, indem der andere Theil der Wahrnehmung entgeht, weil er alſogleich wieder durch ein gleiches Quantum entgegengeſetzter E neutraliſirt wird oder ſich nicht äußern kann, indem die entgegengeſetzte E nicht abzufließen vermag. Könnte man alle frei gewordene E auffangen, ſo müßte ſie der Anzahl der oxydirten Atome des poſitiven Erregers proportional ſeyn; allein da die Leitungsfähigkeit des Apparates und die ſpecielle Anordnung deſſelben immer einen größeren oder

kleineren Theil der E verſchwinden läßt, ſo kann jene Proportionalität zwiſchen der Größe der chemiſchen Wirkung und jener der elektriſchen Erregung (Spannung oder Stromſtärke) nicht Statt finden. Daher kommt es auch, daß oft bei energiſchem chemiſchen Einwirken zweier Stoffe auf einander weniger E bemerkbar iſt, als bei einer ſchwächern chemiſchen Action. Stellt man einen Platintiegel mit verdünnter Schwefelſäure auf die Platte eines Condenſators und taucht dann eine in der Hand gehaltene Zinkplatte in die Säure; ſo findet wohl eine ſehr lebhafte chemiſche Action am Zink, aber nur eine kaum wahrnehmbare elektriſche Spannung am Platin Statt; weil ſich die freie E des Zinkes bei der großen Leitkraft der verdünnten Säure leichter mit der entgegengeſetzten der Flüſſigkeit verbindet als ſie in die ſchlechter leitende Hand abfließt. Wendet man aber eine concentrirte, die E ſchlechter leitende Säure an, ſo erhält man eine ſchwache chemiſche Wirkung, aber eine bedeutende elektriſche Spannung im Platin. Ein Tiegel aus einem oxydirbaren Stoffe, der ſtark erhitzt iſt, gibt alſogleich, ſelbſt ohne Condenſator, Zeichen vom freier E, ja ſogar Funken, wenn man einen Tropfen Flüſſigkeit hinein fallen läßt, die ihn chemiſch angreift, ſobald der Reſt alſogleich verdunſtet. Bleibt aber nur eine Spur dieſer Flüſſigkeit zurück, ſo iſt der elektriſche Effect nur ſehr gering. Im erſteren Falle bleibt nämlich die E des Metalls frei, weil die entgegengeſetzte der Flüſſigkeit durch den Dampf fortgeführt wird, im letzteren wird ſie zum Theil durch die E der Flüſſigkeit neutraliſirt. 5) Bei denſelben feſten und flüſſigen Leitern und einer gleichen Anordnung derſelben verſchwindet von der durch den chemiſchen Prozeß frei gewordenen E immer derſelbe aliquote Theil und der frei bleibende iſt demnach der Größe der chemiſchen Wirkung (Quantität des oxydirten Zinkes einer gewöhnlichen Batterie) proportional. 6) Metalliſche Berührung hat nur den Zweck, dem elektriſchen Strome den Weg zu gewähren und die der Oxydation als der eigentlichen Elektricitätsquelle entgegen wirkende Affinität zu beſeitigen. Um amalgamirtes Zink anzugreifen, dazu hat verdünnte Schwefelſäure an und für ſich nicht Kraft genug, nur wenn für einen elektriſchen Strom der Weg offen ſteht, reicht ſeine Affinität dazu hin und dieſen Weg öffnet das zweite Metall, wenn es das erſte berührt. Ein gleiches Metall, d. h. wieder Zink, kann dieſes nicht leiſten, weil es zu einen Gegenſtrom Veranlaſſung gäbe, auch ein zwiſchen die beiden Metalle eingeſchalteter Elektrolyt muß ſchwächer wirken, weil auch dieſer eine Gegenkraft mit ſich bringt, indem er E nur durchläßt, wenn er zerſetzt wird. 7) Werden mehrere Plattenpaare mittelſt eines flüſſigen Leiters zu einer Batterie verbunden, ſo wird dadurch die Quantität der Elektricität nicht vermehrt, und es dienen für jedes Paar alle andern als Leiter. Die gegenſeitig in demſelben Körper vorkommenden entgegengeſetzten Elektricitäten neutraliſiren ſich und ſo kommt es, daß ſich die poſitive E nach einer, die negative nach der andern Seite anhäuft.

Der weſentliche Unterſchied zwiſchen dieſen beiden Anſichten beſteht demnach in Folgendem: Nach der Berührungshypotheſe wird Elektricität durch eine den Metallen inwohnende, in denſelben durch Berührung erregte, von allen bekannten Kräften verſchiedene Kraft hervorgerufen, ohne materielle Veränderung dieſer Metalle; beide ſpielen dabei eine active Rolle, der feuchte Leiter verhält ſich theils paſſiv, indem er die Elektricität der feſten Erreger leitet, theils activ, wenn er ſelbſt elektromotoriſch wirkt. Nach der chemiſchen Hypotheſe wird nur die Elektricität, welche in dem feuchten Leiter gebunden war, frei, weil die chemiſche Vereinigung ſeiner Beſtandtheile aufhört. Die Metalle, entweder beide oder nur eines derſelben, wirken durch ihre Verwandtſchaft zu den Beſtandtheilen des flüſſigen Leiters, die Flüſſigkeit durch die chemiſche Verwandtſchaft ihrer Beſtandtheile und durch ihre Zerſetzbarkeit. Während nach der Berührungshypotheſe die Körper in zwei Claſſen zerfallen, nämlich in ſolche, welche als Elektromotoren und Leiter, und in ſolche, welche bloß als Leiter wirken; ſo ſind ſie nach der chemiſchen Hypotheſe entweder Leiter, ohne Elektrolyte zu ſeyn, oder Leiter und Elektrolyte zugleich. Nach der Contacttheorie tritt die Elektricitätsentwicklung ſelbſt in Metallen, die ſich ſchon in einem flüſſigen Elektrolyten befinden, erſt im Augenblicke ihrer gegenſeitigen Berührung ein; nach der chemiſchen Theorie iſt die Elektricität in ſolchen Metallen ſchon frei oder doch ihr Freiwerden vorbereitet, bevor ihre Berührung Statt hat. Nach der Berührungshypotheſe wird die Vereinigung der durch Berührung von einander getrennten Elektricitäten von der elektromotoriſchen Kraft verhindert, nach der chemiſchen Hypotheſe ſtehen der Vereinigung der zwei entwickelten Elektricitäten nur gewöhnliche Leitungswiderſtände entgegen und die chemiſche Wirkung erſetzt fortwährend, ſo lange ſie Statt findet, das, was durch Neutraliſirung der beiden Elektricitäten verloren gegangen iſt.

224. Keine von dieſen beiden Hypotheſen hat bis jetzt einen entſcheidenden Sieg davon getragen und jede hat ihre eifrigen und gründlichen Vertheidiger; ein ſogenanntes Experimentum crucis gibt es für keine und was man bis jetzt als ſolches aufgeſtellt hat, läßt ſich mehr oder weniger leicht nach beiden Anſichten erklären. Um der einen oder der andern dieſer beiden Anſichten den Sieg zuzuwenden, hat man von der einen Seite behauptet, daß durch den bloßen Contact gar keine Elektricität entſtehe, ſondern dabei ſtets ein chemiſcher Proceß im Spiele ſey, ja man iſt ſogar ſo weit gegangen, die Oxydationsfähigkeit der edlen Metalle zu Hilfe zu rufen; von der andern Seite hat man die Elektricitätserregung durch chemiſchen Proceß in Zweifel geſtellt. Es dürfte ſchwer werden, derlei Behauptungen auf eine gründliche Weiſe zu unterſtützen; denn der Fundamentalverſuch Volta's iſt ein zu wohl begründetes Factum, um an ſeiner Richtigkeit zweifeln zu wollen, und er wurde vielfach und unter Umſtänden angeſtellt, wo an einen eigentlichen chemiſchen Vorgang nicht zu denken iſt (Pfaff's Verſuche mit einem Zinkkupferelemente in verſchiedenen trockenen Gaſen), und eben ſo wenig läßt ſich die Möglichkeit in Abrede ſtellen, daß durch chemiſche Vorgänge Elektricität erregt werde, wenn man in Erwägung zieht, daß die Elektricität ſowohl Verbindungen, als Trennungen der Stoffe bewirke. Doch muß man

ſich hüten, den Verſuchen, durch welche man den chemiſchen Urſprung der Elektricität auf das Beſte zu rechtfertigen glaubt, z. B. der Becquerel'ſchen Kette, ein zu großes Gewicht beizulegen, da, wenn man den Metallcontact der Galvanometerdrähte mit den betreffenden Flüſſigkeiten ausſchließt, die Wirkungen gewaltig herabſinken (Fechner in Pogg. Ann. 48. 1.) Eben ſo wenig läßt ſich die feſte elektrolytiſche Action zu Gunſten der chemiſchen Hypotheſe geltend machen; denn es iſt dieſelbe eine allgemeine Eigenſchaft der elektriſchen Ströme, und kommt daher auch den aus andern Quellen ſtammenden, z. B. den magneto-elektriſchen Strömen zu. Daß es übrigens ſehr ſchwer iſt, den wahren Antheil des Chemismus an der Elektricitätserregung in das gehörige Licht zu ſtellen, hat ſeinen Grund darin, weil es gar keine chemiſche Wirkung ohne Contact gibt und weil der Effect ſelbſt von ſo vielerlei Umſtänden abhängt, als: Concentrationsgrad, Temperatur der Flüſſigkeiten u. ſ. w. Mit welcher Behutſamkeit man bei der Beurtheilung der auf dieſen Gegenſtand ſich beziehenden Argumente zu Werke gehen müſſe, kann man am beſten aus den durch Gründlichkeit ſich auszeichnenden Abhandlungen deutſcher Phyſiker lernen. Im Allgemeinen muß man zugeben, daß der Satz: es trete Berührungselektricität auf, wo ſich keine chemiſche Wirkung nachweiſen läßt, ſicherer ſtehe als das, wiewohl auch von Einigen behauptete Gegentheil und in ſo ferne ſteht die Contacthypotheſe feſter als ihre Gegnerin. Doch darf man nicht überſehen, daß bei der Durchführung einer oder der andern Anſicht die Anhänger der Contacthypotheſe ein leichteres Spiel haben, als jene, welche den chemiſchen Urſprung der E vertheidigen, weil erſtere eine neue Thatſache nur in die Sprache ihrer Hypotheſe zu überſetzen brauchen und ihre elektromotoriſche Kraft darnach modificiren können, während die Anhänger der chemiſchen Hypotheſe immer die elektriſchen Thatſachen mit den begründeten Geſetzen der chemiſchen Affinität in Einklang zu bringen ſuchen müſſen.

225. Nach dem gegenwärtigen Stande unſerer Kenntniſſe kann keine der beiden Hypotheſen als genügend angeſehen werden und es iſt wahrſcheinlich, daß bei der Entwicklung der ſogenannten galvaniſchen Elektricität die Berührung der feſten Leiter nicht mehr als Veranlaſſung, der chemiſche Proceß zwiſchen den flüſſigen und den feſten Leitern aber ein weiterer als zum Freiwerden der E nöthig iſt, geſteigerter Vorgang iſt, daß mithin die wahre Quelle jener Elektricität in einem inneren Verlauf liegt, der nicht nothwendig chemiſche Wirkungen mit ſich führt.

Nach der in 115 aufgeſtellten Anſicht beſteht das Weſen der elektriſchen Zuſtände in einer beſtimmten Anordnung der ſchon von Natur aus mit Polarität begabten Molekel. Dieſe Stellung muß demnach in den ſogenannten Elektromotoren ſchon dadurch bewirkt werden, daß ſie einander berühren und ſie iſt demnach das Reſultat der Wirkſamkeit ihrer Molecularkräfte in dem Zuſtande, wo deren Wirkungsſphären in einander greifen. Die Annahme einer derartigen Einwirkung darf nicht befremden, da durch eine ſolche im Grunde auch die Phänomene der Haarröhrchen hervorgebracht und Verdichtungen

an den äußerſten Schichten der Körper (Girard in Pogg. Ann. 5. 51.) erzeugt werden. Ein chemiſcher Proceß iſt ohne Molecularbewegung gar nicht denkbar, ja es muß bei einem ſolchen die Bewegung ſich bis zu den Atomen erſtrecken. Körper, die unter günſtigen Umſtänden, z. B. im flüſſigen Zuſtande, chemiſch auf einander wirken, müſſen doch auch unter minder günſtigen, wo dieſe Einwirkung unterbleibt, ſich gegenſeitig auf irgend eine Weiſe afficiren, und es iſt nicht ungereimt anzunehmen, daß dieſe Affection darin beſtehe, ihre Molekel in eine beſtimmte Richtung gegen einander zu bringen. Die damit verbundene Bewegung iſt demnach eine Art Vorläufer einer chemiſchen Action und zugleich der Grund des Freiwerdens von Elektricität. Daß darauf nicht nothwendig die chemiſche Action folgen müſſe, iſt für ſich klar; doch iſt ein gleichzeitiges Auftreten beider, der chemiſchen Action und des Freiwerdens von Elektricität, wohl möglich und vielleicht häufiger als das Unterbleiben der erſteren.

Außer den bereits genannten ſind noch folgende Abhandlungen als Hilfsmittel zur weiteren Verfolgung des Ganges der Streitfrage über die Contact- und die chemiſche Hypotheſe zu empfehlen: Davy in Phil. Transact. 1807 und 1826. Reviſion der Lehre vom Galvano-Voltaismus von Pfaff. Altona 1837. Derſelbe in Pogg. Ann. 49. 461; 51. 111 und 197; 53. 303. Ueber Contact-Elektricität von Karſten, Berlin 1836. La Rive in Pogg. Ann. 15. 98; 37. 225; 40. 355. und 515; 46 489. Faraday ebend. 35 1; 52. 149 und 547; 53. 316. 479 und 548 Fechner ebend. 41. 225; 42. 481; 44. 37. Lenz ebend. 47. 584; 48 1 und 225; Poggendorff ebend. 49. 31; 53 436; 55 437; 56. 352.

226. Es iſt kein Zweifel daß in einem lebenden Körper durch den Lebensproceß beſtändig Elektricität erregt werde und große Phyſiologen haben die Elektricität als beſtändigen Begleiter der Lebensthätigkeit angeſehen. Die Haare von Katzen, Pferden ꝛc., ja ſelbſt von jungen Perſonen ſind oft ohne äußere Veranlaſſung ſo ſtark elektriſch, daß ſie ſträubend in die Höhe ſteigen; Pflanzen ſah man zur Zeit des intenſivſten Lebens Funken geben, ja Pouillet hat ſogar die durch die Vegetation entwickelte Elektricität durch mehrere directe Verſuche beſtimmt. Einige Fiſche, wie z. B. der Zitteraal (gymnotus electricus), der Zitterrochen (raja torpedo), der Zitterwels (silurus electricus), der Stachelbauch (tetrodon electricus), der Spitzſchwanz (trichiurus electricus) können gleich einer geladenen Leidnerflaſche Schläge ertheilen, wozu ſie ein eigenes, einer Volta'ſchen Säule ähnliches Organ beſitzen. J. Davy hat die Identität der Elektricität des Zitteraals mit der Reibungs- und Berührungselektricität factiſch nachgewieſen, indem er mittelſt derſelben Stahlnadeln magnetiſirte, Magnetnadeln ablenkte und chemiſche Wirkungen hervorbrachte. In der neueſten Zeit hat man dieſe Unterſuchungen mit Erfolg fortgeſetzt, und Linari hat ſogar durch Anwendung langer ſpiralförmiger oder ſelbſt kurzer aber zuſammengewundener Drähte Funken zu gewinnen gewußt und mittelſt eines empfindlichen Conden-

ſators Zeichen einer elektriſchen Spannung erhalten. Faraday hat alle dieſe Wirkungen beſtätiget gefunden, und überdieß noch durch dieſe Elektricität Drähte erhitzt. Der Strom, den ein Zitteraal liefert, geht, ſeinen Erfahrungen zu Folge, immer vom Vordertheil des Thieres zum Hintertheile. (Davy in London and Edinb. Journ. I.; Humboldt in Pogg. Ann. 37. 239; Colladon ebend. 39. 411; Matteucci ebend. 39. 485; Faraday in Pogg. Ergänzbd. 1. 385. Beobachtungen über die elektriſchen Wirkungen des Zitteraals von Schönbein. Baſel 1841.)

227. Es ſind nun alle Elektricitätsquellen unterſucht, und die Geſetze, nach denen ſie ſich wirkſam zeigen, näher erörtert worden. Schon ein oberflächlicher Ueberblick zeigt, daß Reibung, Berührung, Induction, Wärme und der Lebensproceß die Hauptquellen ſeyen, daß man es daher im Allgemeinen mit der Reibungs- oder gemeinen, mit der Volta'ſchen-, der thieriſchen, der Magneto- und der Thermo-Elektricität zu thun habe. Alle dieſe befolgen aber dieſelben Geſetze, zum Beweiſe, daß alle von derſelben inneren Natur ſeyen. Insbeſondere hat man von allen dieſen phyſiologiſche Wirkungen, Ablenkung der Magnetnadel, Magnetiſirung, Funken, Temperaturerhöhung und wahre elektro-chemiſche Wirkungen erfahren.

Intereſſant wäre es, die zu den verſchiedenen Wirkungen elektriſcher Ströme nöthigen relativen Intenſitäts- und Quantitäts-Größen zu kennen, allein zu dieſem Ende iſt bis jetzt nur ſehr wenig geſchehen. Pouillet fand, daß die Intenſität des Stromes einer Volta-ſchen Säule von 12 Plattenpaaren aus Zink und Kupfer 113924 mal ſo groß iſt, als die eines Wismuth-Kupferelementes, das durch eine Temperatur-Differenz von 1° angeregt wird, und durch einen 21 Meter langen Bogen 1 Millim. dicken Kupferdrahtes geht. Nach Poggendorff hielt der Strom einer magnetiſchen Rotationsmaſchine bei acht Umläufen des Ankers in der Secunde drei Zink-Kupferplatten einer Volta'ſchen Säule das Gleichgewicht. Nach Faraday braucht man zur Zerſetzung von 1 Gran Waſſer ſo viel Elektricität, daß man damit einen Platindraht von $^1/_{100}$ Z. Dicke in der Luft durch $3^1/_4$ M. roth glühend erhalten, oder daß man mit derſelben eine Batterie laden könnte, die 800.000 mal größer iſt, als eine ſolche, die man durch 30 Umdrehungen einer ſehr kräftigen Scheibenmaſchine zu entwickeln vermag, und die demnach das größte Thier zu tödten im Stande wäre. Weber endlich hat dieſe Kraft auf abſolutes Maß zurückgeführt.

Ueber dieſen Abſchnitt ſiehe nebſt den ſchon angeführten Werken: Franklin's Briefe von der Elektricität. Leipzig 1758. Verſuche über die Elektricität von Adams. Wien 1786. L. Mahon's Grundſätze der Elektricität. Leipzig 1789 Donndorf's Lehre von der Elektricität. Erfurt 1784. Practiſche Elektricitätslehre von Lagenbucher. Augsburg 1788. Elemente der Elektricität und Elektrochemie von Singer. Breslau 1819. Grundzüge der reinen Elektricitätslehre von Leſchan. Wien 1826. A. Galvani's Abhandlung über die Kraft der thieriſchen Elektricität Prag 1793. Volta's Schriften über die thieriſche Elektricität. Prag 1793 und 1796. Volta's neueſte Verſuche über den Galvanismus. Wien 1803. A. Humboldt, über die gereizte Muskel- und Nervenfaſer. Berlin 1797 bis 1799. Der Prozeß der galvaniſchen Kette von G. F. Pohl. Leipzig

1826. Die galvaniſche Kette, mathematiſch bearbeitet von Ohm. Berlin 1827. Saggio di esperienze electro-metriche del D. St. Marianini. Venezia 1822. Maßbeſtimmungen über die galvaniſche Kette von G. Th. Fechner. Leipzig 1831. Memorie ed osservationi dal cav. L. Nobili. Firenze. 1834. Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme etc. par M. Becquerel. Paris 1834 — 1840. Experimental Researches in Electricity By M. Faraday. London 1839. (Eine beſondere Ausgabe der Abhandlungen dieſes großen Phyſikers über die Elektricitätslehre. Sie finden ſich vollſtändig in Pogg. Ann. Bd. 25, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 46, 47, 48, 52, 53 und Ergänzungsband 1.) A manual of electricity, magnetism and meteorology by D. Lardner. London 1844. Lectures on electricity comprising Galvanism Magnetism, Electro-Magnetism, Magneto- and Thermo-Electricity. By St. Noad. London 1844. Endlich bieten noch die Repertorien von Fechner, von Dove und das neue Gehler'ſche Wörterbuch in den Artikeln Elektricität, Galvanismus, Leiter, Magneto-Elektricität, Thermo-Elektricität u. a. vielfache Belehrung.

Dritter Abſchnitt.

Licht.

Erſtes Kapitel.

Erſcheinungen des Lichtes überhaupt.

228. Wenn die Sonne unter dem Horizont ſteht, Wolken die Geſtirne verbergen und auch kein künſtliches Licht vorhanden iſt; ſo ſind wir von der Sinnenwelt, mit der wir nicht unmittelbar durch Berührung in Verbindung ſtehen, völlig abgeſchnitten. Das Licht, ſo nennen wir den objectiven Grund des Sehens, iſt es alſo, durch welches wir Vorſtellungen von entfernten Gegenſtänden bekommen und das uns den größten Theil der Schöpfung kennen lehrt. Doch dient es nicht bloß dazu, uns die Gegenſtände ſichtbar zu machen, ſondern es vermag auch chemiſche Veränderungen hervorzurufen, greift in das organiſche Leben mächtig ein und ſpielt daher auch in anderer Beziehung in dem Haushalte der Natur eine wichtige Rolle.

229. Die Quelle des Lichtes ſind die ſelbſtleuchtenden Körper. Dieſe ſind nämlich an ſich ſichtbar und bedürfen nicht, wie die dunklen, zu ihrer Sichtbarkeit der Gegenwart eines andern, der ihnen Licht zuſendet. Selbſtleuchtende Körper ſind: die Sonne, die Firſterne, vielleicht auch die Kometen, ferner die brennenden und phosphorescirenden Körper. Es iſt bekannt, daß dunkle Körper ſelbſtleuchtend werden können, daß Holz und manche andere Pflanzenſtoffe erſt leuchten, wenn ſie faulen, eben ſo daß manche Körper durch Erwärmen, Stoßen, Reiben, Schlagen ꝛc. Licht geben, und daß einige (die ſogenannten Lichtſauger) erſt leuchten, wenn ſie einige Zeit lang dem Sonnenlichte ausgeſetzt waren.

Faules Holz, todte Seefiſche, die Johanneswürmchen, die Johanneskäfer, der Surinamiſche Laternenträger ꝛc. phosphoresciren von ſelbſt; der Bologneſer Leuchtſtein (zerſtoßener und durch Tragant zu Paſten geformter, gebrannter Schwerſpath, verſchiedene Kalkſalze, beſonders Schwefelkalk, auch Schwefelſtrontian, Schwefelbaryt, Flußſpath, arſenikſaures Kali mit ſalpeterſaurem Baryt geglüht) leuchten nach kurzer Beſtrahlung durch Sonnenlicht, beſonders wenn ſie erwärmt wer-

den; Diamanten leuchten beim Reiben mit Wolle, zwei Kieſel geben beim Zuſammenſchlagen Funken und beim Reiben einen Lichtſchein ꝛc. (Heinrich über die Phosphorescenz. Nürnberg, 1811 — 1820; Schweigg. J. 14 135; Kaſt. Arch. 5. 88. Zeitſchr. 2. 80; Pogg. Ann. 33. 405; Gehlers und Wörterb., Artikel: Licht.)

230. Einige Körper ſind vom Lichte durchdringlich und ſolche hindern daher die Sichtbarkeit eines Gegenſtandes nicht, wenn ſie ſich zwiſchen demſelben und dem Auge befinden. Man nennt ſie durchſichtig, wie z. B. Luft, Glas, Waſſer. Andere laſſen das Licht nicht hindurch und halten daher das von einem Objecte zum Auge gehende auf; ſie werden undurchſichtig genannt. Kein Körper läßt alles auf ihn fallende Licht durch und keiner iſt daher abſolut durchſichtig, ja ſelbſt der durchſichtigſte wird in dicken Schichten undurchſichtig, gleichwie der undurchſichtigſte in dünnen Schichten wenigſtens durchſcheinend iſt.

231. Ein undurchſichtiger Körper hindert die Sichtbarkeit eines anderen nur dann, wenn er ſich in den geraden Linien befindet, welche vom Auge zu den Puncten des zu ſehenden Gegenſtandes gehen. Daher erfolgt die Wirkung des Lichtes längs geraden Linien und jede ſolche Linie heißt ein Lichtſtrahl. Ein leuchtender Punct ſendet Lichtſtrahlen nach allen Seiten aus, und ein dunkler, demſelben gegenüberſtehender Körper empfängt daher, wenn kein undurchſichtiger im Wege ſteht, einen Lichtkegel oder eine Lichtpyramide, deren Spitze im leuchtenden Puncte liegt und deren Seitenfläche jenen Körper ringsum berührt. Denkt man ſich in einem verfinſterten Zimmer eine äußerſt kleine Oeffnung an einem Fenſterladen, die als Punct betrachtet werden kann, und nimmt man an, daß directes Sonnenlicht durch ſie eindringe; ſo hat der von der Sonne kommende Lichtkegel ſeine Spitze an dieſer Oeffnung, und von da an bildet ſich im Zimmer ein zweiter umgekehrter Kegel. Wird dieſer mit einer weißen Tafel aufgefangen, deren Ebene auf der Axe des Kegels ſenkrecht ſteht, ſo ſtellt ſich der Durchſchnitt beider als ein leuchtender Kreis dar, der gleichſam als ein Bild der Sonne betrachtet werden kann, das ſo vielmal linear verkleinert etſcheint, als ſeine Entfernung von der Oeffnung in der Diſtanz der Sonne von derſelben enthalten iſt. Hat aber die Oeffnung am Fenſterladen eine merkliche Ausdehnung, und iſt ſie z. B. kreisrund, ſo dringen unendlich viele ſolche Lichtkegel ein und geben zuſammen ein Sonnenbild, deſſen Halbmeſſer um den der Oeffnung größer iſt, als im vorigen Falle. Es iſt offenbar in dem mittleren Theile ſtärker erleuchtet als am Rande, wo die Helligkeit raſch abnimmt. Stellt nämlich z. B. ST (Fig. 266) den Durchmeſſer der Sonne vor, HK den Durchmeſſer einer kreisrunden Oeffnung, MN eine weiße Tafel, auf welche das Sonnenlicht fällt; ſo darf man nur die geraden Linien SHA, SKB, THC, TKD ziehen, um einzuſehen, daß in den Raum zwiſchen B und C von allen Puncten, dagegen in die Randtheile AB, CD von um ſo wenigeren Puncten der Sonne Licht falle, je näher die betrachtete Stelle an A oder D liegt. Will man

wiſſen, welches Stück der Sonne die Beleuchtung irgend eines Punctes, z. B. x in AD bewirkt, ſo darf man nur xHy, xKz ziehen; das Stück der Sonne, welches innerhalb des Kegels yxz erſcheint, iſt das wirkende. Eine ſehr kleine, von der Sonne beleuchtete Oeffnung in dem Fenſterladen eines verfinſterten Zimmers vertritt bei Verſuchen oft die Stelle eines leuchtenden Punctes; eine ſchmale Spalte daſelbſt die Stelle einer leuchtenden Linie.

232. Befinden ſich außerhalb des verfinſterten Zimmers, der Oeffnung im Fenſterladen gegenüber, hell beleuchtete Gegenſtände, ſo zeigt ſich auf der Wand im Zimmer oder auf einem der Oeffnung entgegengeſtellten weißen Schirme eine verkehrte Abbildung dieſer Gegenſtände mit ihren natürlichen Farben. Man nennt dieß den Verſuch der dunklen Kammer (Camera obscura). Die Abbildung gewinnt an Schärfe, verliert aber an Helligkeit, wenn man die Oeffnung verkleinert oder die Entfernung des Schirmes von der Oeffnung vergrößert, ſo daß nur einer gewiſſen Anordnung beider der beſte Effect entſpricht. Jeder Punct der beleuchteten Gegenſtände ſendet hier einen Strahlenkegel, dem die Eigenſchaft inwohnt, in dem Auge den Eindruck einer beſtimmten Farbe hervorzurufen, durch die Oeffnung; der Durchſchnitt dieſes Kegels mit der Fläche des Schirmes gibt das Bild jenes Punctes. Je mehr Licht auf einen beſtimmten Theil des Schirmes fällt, deſto heller iſt das Bild; je weniger ſich die Bilder der einzelnen Puncte decken, deſto ſchärfer erſcheint die Abbildung, oder wie man zu ſagen pflegt, deſto mehr Deutlichkeit beſitzt es. Da dieſe bei ſchicklich gewählter Größe der Oeffnung und Diſtanz des Schirmes ſchon ſehr befriedigend ausfällt, ohne daß jeder Punct im Gegenſtande durch einen Punct im Bilde wieder gegeben wird; ſo iſt für unſer Auge eine gewiſſe Annäherung an die geometriſche Schärfe ſchon hinreichend. Die Folge wird Mittel darbieten, die Schärfe des Bildes in der Camera obſcura ohne Verluſt an Helligkeit zur größten Vollkommenheit zu bringen.

233. Dunkle Stellen in einem beleuchteten Raume, von welchem das Licht durch einen undurchſichtigen Körper abgehalten wird, heißt man Schatten, gänzliche Abweſenheit des Lichtes nennt man Finſterniß, wiewohl man einen Raum oft ſchon für finſter hält, wenn es ihm an der zum klaren Sehen nöthigen Erleuchtung fehlt. Hat der leuchtende Körper eine merkliche Ausdehnung, wie z. B. die Sonne, der Mond ꝛc.; ſo gibt es hinter einem undurchſichtigen Körper, der von jenem beleuchtet wird, außer dem Raume, in welchen gar kein Strahl unmittelbar gelangen kann und den man Kernſchatten nennt, auch noch einen ſolchen, der nur von einigen Puncten des leuchtenden Körpers unmittelbar Licht empfängt. Dieſen nennt man Halbſchatten. Im Allgemeinen erhalten nur jene Puncte des Halbſchattens, welche gegen den leuchtenden und gegen den beleuchteten Körper einerlei Lage haben, Licht von gleicher Intenſität, und dieſes nimmt an jedem Querſchnitte des Halbſchattens gegen den Kernſchatten hin durch alle Zwiſchenſtufen ab. Beide Schatten gehen

alſo ſtetig in einander über, ſo daß man ihre Grenze nie genau angeben kann. Iſt z. B. AB (Fig. 267) eine leuchtende, CD eine beleuchtete Linie, ſo iſt CED der Kernſchatten, ECx und EDy ſind Halbſchatten.

Da der Schatten durch die Strahlen begrenzt wird, welche am äußerſten Rande des beleuchteten Körpers vorbeiſahren; ſo muß ſeine Geſtalt, Lage und Größe von der Geſtalt und Größe des leuchtenden und beleuchteten Körpers und von ihrer gegenſeitigen Entfernung abhängen, übrigens für jeden gegebenen Fall mathematiſch beſtimmt werden können. Man erſieht hieraus zugleich, daß man von der Größe des Schattens auf die des beleuchtenden Körpers, ja ſogar von der Bewegung des einen auf die Bewegung des andern einen Schluß machen, und daher den Schatten zur Beſtimmung der Dimenſion oder Bewegung eines Gegenſtandes benützen könne. (Silhouettiren, chineſiſches Schattenſpiel. Beſtimmung der Höhe eines Baumes, Thurmes ꝛc. mittelſt ſeiner Schattenlänge.) Der Schatten erſcheint durch Contraſt deſto dunkler, je ſtärker der ihn umgrenzende Raum erleuchtet iſt; daher verurſacht das ſtärkſte Licht den dunkelſten Schatten. Daß uns Nachts bei einem ſparſamen Kerzenlichte die Schatten dunkler erſcheinen, als bei Tage, wo das unendlichemal ſtärkere Sonnenlicht ſcheint, das kommt davon her, daß eigentlich am Tage faſt kein Kernſchatten vorhanden iſt, indem der Schatten eines Körpers in den beleuchteten Raum eines anderen fällt.

234. Nicht alle leuchtenden Puncte beſitzen eine gleiche Leuchtkraft oder wie man zu ſagen pflegt, nicht alle ſenden Lichtſtrahlen von gleicher Intenſität aus. Steht einem leuchtenden Puncte eine dunkle Fläche gegenüber, ſo fängt ſie einen Theil der von demſelben ausfahrenden Strahlen auf und wird durch ſie erleuchtet. Die Stärke der Erleuchtung iſt aber ſelbſt bei einerlei Intenſität der auffallenden Strahlen verſchieden nach Maßgabe der Entfernung dieſer Fläche vom leuchtenden Puncte und ihrer Lage gegen denſelben. Sie wird offenbar von deſto mehr Strahlen getroffen, je näher ſie der Lichtquelle ſteht und man kann ſich vorſtellen, die von ihr aufgefangene Lichtmenge bilde eine Pyramide, in deren Spitze der leuchtende Punct liegt und deren Baſis ſie ſelbſt abgibt. Denkt man ſich nun beſagte Fläche von der Lichtquelle weiter entfernt; ſo wird ſie von derſelben Lichtmenge getroffen werden, wenn ſie im Verhältniſſe des Quadrats der Entfernung größer iſt und gleiche Stücke derſelben erfahren demnach in demſelben Verhältniſſe eine ſchwächere Beleuchtung. Daher das Geſetz, daß ſich die Beleuchtung verkehrt nach dem Quadrate der Entfernung der beleuchteten Fläche von der Lichtquelle richte. Denkt man ſich die beleuchtete Fläche vorerſt ſo gegen den leuchtenden Punct geſtellt, daß die Lichtpyramide eine ſenkrechte iſt, und hierauf in eine ſchiefe Lage gegen die einfallenden Strahlen gebracht; ſo iſt klar, daß nun eine Fläche, welche im Verhältniß der Einheit zum Sinus der Neigung gegen die Strahlen größer iſt, von derſelben Lichtmenge getroffen wird und daß daher die Beleuchtung in demſelben Verhältniß kleiner ausfallen muß. Demnach richtet ſich die Beleuchtung, welche einer Fläche von einem leuchtenden Puncte zu Theil wird, nach dem verkehrten qua-

dratiſchen Verhältniſſe ihrer Entfernung von jenem Puncte und nach dem geraden Verhältniſſe des Sinus des Winkels, unter welchem das Licht beſagte Fläche trifft.

Eine brennende, ſenkrecht ſtehende Kerze beleuchtet, ſelbſt wenn ſie fortwährend gleich gut brennt, ein horizontales Papier verſchieden, je nachdem ſich ihre Höhe beim Abbrennen ändert. Je kürzer ſie wird, deſto näher kommt die Lichtquelle dem Papiere und deſto ſtärker beleuchtet ſie dasſelbe, aber zugleich fallen die Lichtſtrahlen deſto ſchiefer auf und verurſachen dadurch einen Abbruch in der Beleuchtung. Daher gibt es eine gewiſſe Höhe einer Kerze, bei der ſie die beſte Erleuchtung gewährt.

235. Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes findet nur ſo lange Statt, als es ſich in demſelben Mittel befindet; ändert es aber das Mittel, ſo erleidet es beim Uebergange im Allgemeinen eine Aenderung der Richtung und der Intenſität. Es kehrt nämlich ein Theil eines an die Grenze zweier heterogener Mittel gelangenden Lichtſtrahles in das alte Mittel zurück und wird reflectirt, der andere dringt in das neue Mittel ein. Geht der auffallende Strahl ſchief gegen die Grenze der Mittel, ſo nimmt der reflectirte einen anderen Weg; auch der in das neue Mittel eindringende ändert ſeine Richtung, d. h. er wird gebrochen. Von der Reflexion des Lichtes überzeugt man ſich am augenſcheinlichſten, wenn man einen Kegel Sonnenſtrahlen in ein dunkles Zimmer fallen läßt und dieſen mit einer Glasplatte oder einem gewöhnlichen Spiegel auffängt. Um die Brechung auf eine recht auffallende Weiſe wahrzunehmen, bedient man ſich eines parallelepipediſchen Kaſtens, wovon eine Seitenwand undurchſichtig, die übrigen durchſichtig ſind. Läßt man auf die undurchſichtige Wand A B (Fig. 268) nach der Richtung S C Sonnenlicht fallen und beobachtet die Länge des Schattens B C auf dem Boden, gießt ſodann Waſſer in das Gefäß und wiederholt die Beobachtung; ſo zeigt ſich der Schatten B D bedeutend verkürzt; es hat alſo der Strahl S A im Waſſer den Weg A D genommen.

Das reflectirte Licht iſt es, durch welches dunkle Körper gleich den ſelbſtleuchtenden ſichtbar werden; nur mittelſt deſſelben nimmt man das vorerwähnte Bild auf dem Schirme in der dunklen Kammer wahr; die in der Luft ſchwebenden Stäubchen zeigen, indem ſie Licht nach allen Seiten reflectiren, den Weg, den ein in ein dunkles Zimmer eindringender Sonnenſtrahl nimmt. Einen Lichtſtrahl ſelbſt kann man nicht ſehen, man ſieht nur mittelſt deſſelben.

236. Durch die Reflexion und Brechung des Lichtes können Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte herkommen, in neue Richtungen, jedoch ſo gebracht werden, daß dieſe ſich entweder vorwärts oder rückwärts verlängert genau oder wenigſtens ſehr nahe in einem Puncte durchſchneiden. Dem Auge erſcheint daſelbſt das Bild des leuchtenden Punctes, weil es denſelben Eindruck erfährt, als gingen die Strahlen urſprünglich von letzterem Puncte aus. Empfängt das Auge die ſich in einem Puncte durchkreuzenden reflectirten oder gebro-

chenen Strahlen nach der Durchkreuzung, ſo ſieht es ein reelles oder ein Luftbild; ſcheinen nur die Strahlen von einem Puncte herzukommen, indem ſich ihre Richtungen rückwärts genommen in einem Puncte begegnen, ſo findet bloß ein imaginäres Bild Statt. Auf gleiche Weiſe können Bilder von leuchtenden Gegenſtänden entſtehen, denn jedes ſolche iſt nur der Inbegriff der Bilder aller einzelnen Puncte. Dieſe Bilder haben deſto mehr Klarheit, je mehrere Strahlen zur Entſtehung des Bildes jedes einzelnen Punctes beitragen und ins Auge gelangen, und deſto mehr Deutlichkeit, in einem je engeren Raume ſich die von einem Puncte des Objectes ausgehenden Strahlen wieder vereinigen. Treffen ſie genau in einem Puncte zuſammen, ſo hat das Bild von dieſer Seite die größte Deutlichkeit.

237. Das Licht, welches an der Grenze zweier Mittel gleichſam umkehrt und ins alte Mittel zurückgeht, iſt entweder zerſtreutes oder regelmäßig reflectirtes Licht. Durch erſteres wird uns der Körper, an deſſen Grenze die Zerſtreuung erfolgt, ſelbſt ſichtbar, als wäre er ein leuchtender, durch das letztere ſehen wir ein Bild desjenigen, der das Licht auf jenen Körper ſendet. Eine Reflexion tritt, beſondere erſt in der Folge anzugebende Fälle abgerechnet, jedesmal ein, wenn ein Lichtſtrahl an die Grenze zweier optiſch ungleichartigen Mittel gelangt; ob aber eine regelmäßige Reflexion oder eine Zerſtreuung des Lichtes Statt findet, das hängt bloß von der Rauheit und Glätte der vom Lichte getroffenen Fläche ab. Dieſes ſieht man daraus, daß jeder Körper, der im rauhen und unpolirten Zuſtande bloß ſelbſt ſichtbar iſt, alſogleich ſtatt ſeiner das Bild desjenigen gibt, von dem das Licht auf ihn fällt, wenn ſeine Oberfläche polirt wurde. Körper, die durch reflectirtes Licht die Bilder der Gegenſtände zeigen, von denen ſie beleuchtet werden, heißen Spiegel. Sie müſſen offenbar die auffallenden Strahlen in derſelben Ordnung reflectiren, in welcher ſie auffielen; denn ſonſt könnte keine Empfindung in unſerem Auge entſtehen, als käme das Licht gerade vom leuchtenden Gegenſtande her.

Ein vollkommener Spiegel kann nur das Bild der ihn beleuchtenden Gegenſtände, aber nicht ſein eigenes zeigen; allein es gibt in der Natur keinen ſolchen Spiegel. Schon die kleinſten Rauheiten der ſpiegelnden Fläche benehmen ihr einen Theil ihres Spiegelglanzes. Wird auf einen Metallſpiegel eine Figur gezeichnet, hierauf die Zeichnung weggeſchliffen und die Spiegelfläche wieder ſo weit hergeſtellt, daß man bei gewöhnlicher Beleuchtung keine Spur der Zeichnung bemerkt; ſo erſcheint dieſelbe doch auf einer Wand, wohin man ſtarkes, vom Spiegel reflectirtes Licht gelangen läßt. (Pogg. Ann. 27. 485.) Am beſten ſpiegeln: Ruhig ſtehende Flüſſigkeiten, weiße wohl polirte Metallplatten (aus Platin oder aus einer Miſchung von Kupfer, Silber und Zinn) minder gut, aber doch zu manchen Zwecken hinreichend, wohl polirte, auf einer Seite geſchwärzte Glasplatten oder gar Platten aus ſchwarzem Glaſe, die nur auf einer Seite polirt ſind. Dieſen ſtehen unſere gewöhnlichen Spiegel aus Glas, wovon eine Seite mit Zinnamalgam überzogen iſt, weit nach, weil ſie mehrere Bilder machen,

die ſich zum Theil decken; meiſtens erkennt man deren zwei (am beſten von einer brennenden Kerze), wovon eines an der vorderen, das andere an der hinteren Glasfläche gebildet wird. In manchem Spiegel bemerkt man vier bis fünf und mehr ſolche Bilder.

238. Die Wirkung des Lichtes beruht auf einer von den leuchtenden Körpern ausgehenden Bewegung. Römer entdeckte um das Jahr 1675 zu Paris durch aſtronomiſche Beobachtungen, daß die Fortpflanzung des Sonnenlichtes nicht augenblicklich erfolge, ſondern daß es in einer Secunde ungefähr 42.000 Meilen zurücklege. Man weiß nämlich, daß der Planet Jupiter 4 kleine, unſerm Monde ähnliche Begleiter (Trabanten) habe, von denen der ihm nächſte in etwa 42 Stunden einen Umlauf macht und jedesmal in den Schatten des Planeten tritt, mithin verfinſtert wird. Das Zeitintervall, welches vom Anfange einer ſolchen Verfinſterung bis zum Anfange der nächſten verfließt, und eben ſo jenes, welches die Enden zweier unmittelbar auf einander folgenden Verfinſterungen trennt, nimmt fortwährend ab, wenn ſich die Erde in ihrer jährlichen Bewegung dem Jupiter nähert, und wächſt hingegen, wenn ſich die Erde vom Jupiter entfernt. Dieſe Abweichung der Bewegung des Trabanten von der Regelmäßigkeit des Umlaufes um den Jupiter iſt nur ſcheinbar und läßt ſich aus der Annahme vollkommen genügend erklären, daß das auf den Trabanten fallende Sonnenlicht in dem Verhältniſſe weniger oder mehr Zeit brauche, um von dieſem zur Erde zu gelangen, als die Erde ihm näher oder von ihm entfernter ſteht. Die Summe der Beſchleunigungen der Finſterniſſe während die Erde von dem größten Abſtande vom Jupiter bis zum kleinſten fortſchreitet, entſpricht einem Zeitintervall von mehr als 16 Minuten, d. h. um dieſen Zeitbetrag würde man die letzte Verfinſterung ſpäter wahrgenommen haben, wenn die Erde ſtets in der größten Entfernung vom Jupiter geblieben wäre; dieſer Zeit bedarf alſo das Licht, um den Durchmeſſer der Erdbahn zu durchlaufen, woraus die oben angegebene Geſchwindigkeit deſſelben folgt. (Roemeri Basis Astronomiae. Havniae 1735. p. 121. Littrow's Wunder des Himmels. Stuttgart 1837. S. 112.)

Zweites Kapitel.

Reflexion des Lichtes.

239. Es iſt ſchon früher (235) geſagt worden, daß das an der Grenze zweier Mittel gleichſam umkehrende, ins alte Mittel zurückkehrende Licht entweder zerſtreutes oder regelmäßig reflectirtes ſey und daß man daher eine zweifache Reflexion unterſcheiden müſſe. Nur die regelmäßige läßt ſich auf beſtimmte, klare Geſetze zurückführen und von dieſer iſt auch hier ausſchließend die Rede. Iſt MN (Fig. 269) die tangirende Ebene der Trennungsfläche zweier ungleichartigen Mittel,

B der Berührungspunct, den der Strahl A B trifft, ferner B C ſenkrecht auf der Ebene MN, und BD die Richtung des reflectirten Strahles; ſo heißt B der **Einfallspunct**, BC das **Einfallsloth** des Strahles AB, eine Ebene durch AB und BC die **Einfallsebene**, ABC der **Einfallswinkel**, CBD der **Reflexionswinkel**. Dieſem nach geſchieht die Reflexion des Lichtes immer nach den Geſetzen: 1) Daß der reflectirte Strahl in der Einfallsebene liegt; 2) daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich iſt.

Von der Richtigkeit dieſer Geſetze überzeugt man ſich, wenn man einen Lichtſtrahl durch eine ſehr kleine Oeffnung in ein verfinſtertes Zimmer leitet, ihn auf eine wohl polirte Fläche auffallen läßt, und mittelſt eines genauen Inſtrumentes den Einfallswinkel mit dem Reflexionswinkel vergleicht.

240. Wendet man dieſe Grundgeſetze der Reflexion des Lichtes auf Spiegel von verſchiedener Geſtalt an, ſo findet man immer die Richtung der Lichtſtrahlen nach der Reflexion, mithin den Ort, wo ſie herkommen oder herzukommen ſcheinen, daher auch die Lage des Bildes, das ſie erzeugen, und deſſen Beſchaffenheit. Mit den ſo gefundenen Reſultaten ſtimmt die Erfahrung auf das Genaueſte überein und liefert hiedurch einen ferneren Beweis für die Richtigkeit der eben erwähnten Reflexionsgeſetze. Um dieß an einem ſchlagenden Beiſpiele zu zeigen, ſey MN (Fig. 270) ein ebener Spiegel, A ein Punct, der die Lichtſtrahlen AH, AK, AL darauf ſendet, von denen AH auf MN ſenkrecht ſteht. Man findet die Richtung der reflectirten Strahlen KO und LO′, wenn man in den Einfallspuncten K und L die Einfallslothe KE und LF errichtet, und EKO = EKA, FLO′ = FLA macht. Der Strahl AH wird offenbar in ſeiner eigenen Richtung zurückgeworfen, er heißt der **Hauptſtrahl** und wird in ſeiner Verlängerung Ax von den verlängerten Strahlen OK und O′L geſchnitten. Dieſes mag von erſterem in A′, von letzterem in A″ geſchehen. Da iſt nun wegen HK = HK, AHK = A′HK und AKM = NKO = A′KM das Dreieck HKA mit dem Dreieck HKA′ congruent, und deßhalb AH = A′H. Aus gleichen Gründen findet man AH = A″H, woraus dann folgt: A′H = A″H, d. h. alle reflectirten Strahlen ſcheinen von einem Puncte des Hauptſtrahles hinter dem Spiegel herzukommen, der eben ſo weit hinter der Spiegelfläche liegt, als der leuchtende Punct ſich vor derſelben befindet. An dieſer Stelle erſcheint daher dem Auge das Bild des leuchtenden Punctes.

241. Befindet ſich vor einem Planſpiegel ein leuchtender Gegenſtand, ſo muß dem oben erklärten Geſetze gemäß das Bild jedes einzelnen Punctes in der Verlängerung der von demſelben auf die Spiegelfläche gezogenen Senkrechten erſcheinen, eben ſo weit hinter dem Spiegel, als jener Punct vor dem Spiegel ſteht. Die Bilder aller dieſer Puncte zuſammen geben das des Gegenſtandes. Man ſieht wohl leicht ein, daß dieſes Bild die Stellung und Größe des abgebildeten

Gegenſtandes haben und daß es an allen Bewegungen desſelben Theil nehmen werde. Macht eine gerade Linie am Gegenſtande mit dem Spiegel einen Winkel von 45°, ſo macht dieſe mit der ihr entſprechenden Linie an dem Bilde einen rechten Winkel; ſteht aber ein Gegenſtand auf dem Spiegel ſenkrecht, ſo hat ſein Bild gerade die entgegengeſetzte Lage. Ein beſtimmter Punct eines Gegenſtandes wird mittelſt eines ebenen Spiegels nur dann geſehen, wenn die vom Auge nach dem Bilde dieſes Punctes gezogene gerade Linie die ſpiegelnde Fläche durchſchneidet. Der Durchſchnittspunct gibt die Stelle des Spiegels an, von welcher die von genanntem Puncte ausgehenden Strahlen in das Auge geſendet werden. Es läßt ſich leicht zeigen, daß ein verticaler Spiegel, in welchem ein aufrecht ſtehender Menſch ſein Bild ganz überſehen ſoll, wenigſtens die Hälfte der Höhe und Breite des Körpers desſelben haben und bei dem angegebenen Minimum der Dimenſionen ſich in einer beſtimmten Stellung befinden müſſe. Wird ein Spiegel bewegt, während der Gegenſtand in Ruhe bleibt, ſo beträgt die Bewegung des Bildes das Doppelte jener des Spiegels. Auf den Geſetzen der Lichtreflexion an Planſpiegeln beruhen mehrere wichtige phyſikaliſche Inſtrumente und Verſuche, wie z. B. der Helioſtat, der Heliotrop, die verſchiedenen Reflexionsgoniometer, der Spiegelſextant (Oktant, Kreis), Wheatſtone's rotirender Spiegel ꝛc.

Der Helioſtat iſt ein Planſpiegel, den man mit einem Uhrwerke in Verbindung ſetzen und dadurch ſo bewegen kann, daß die darauf fallenden Sonnenſtrahlen, ungeachtet der Bewegung der Sonne, immer nach derſelben Richtung reflectirt werden (Pogg. Ann. 17. 71).

Gauß's Heliotrop beſteht aus zwei auf einander ſenkrechten, mit einem Fernrohre verbundenen Planſpiegeln, deren einer dazu dient, das Sonnenlicht nach einem beſtimmten, weit entfernten Puncte hinzuwerfen, ſo daß man den Spiegel hell erleuchtet ſieht, der andere aber, um dem erſteren die zu ſeinem Zwecke nöthige Stellung zu geben. Es werden nämlich die Sonnenſtrahlen, welche auf dieſe Spiegel fallen, weil die Ebenen letzterer einen rechten Winkel bilden, nach parallelen und entgegengeſetzten Richtungen reflectirt, ſo daß wenn man das Bild der Sonne mittelſt des einen Spiegels an einem Orte ſieht, die von dem andern Spiegel reflectirten Sonnenſtrahlen nach dieſem Orte gehen.

Die Reflexionsgoniometer ſind Inſtrumente, mittelſt welchen man die ebenen Winkel der Kryſtalle durch reflectirtes Licht mißt Sie beruhen im Allgemeinen darauf, daß, wenn eine Kryſtallfläche Licht in beſtimmter Richtung reflectirt, das von einer andern Fläche zurückgeworfene Licht nur dann genau dieſelbe Richtung haben wird, wenn dieſe Fläche genau in die Lage der erſteren gebracht worden iſt. Wird demnach die Richtung beobachtet, in welcher Licht von einer der zwei Kryſtallflächen, deren Neigung φ man wiſſen will, reflectirt wird, und dann der Kryſtall ſo weit um die betreffende Kante gedreht, bis das von der zweiten Fläche zurückgeworfene Licht dieſelbe Richtung hat; ſo weiß man, daß dieſer Drehungs-Winkel $= 180° - \varphi$ iſt, und hat man dieſen gemeſſen, ſo iſt auch φ gefunden. Das brauchbarſte Inſtrument dieſer Art hat Wollaſton angegeben. (Gilb. 37. 357; 49. 191.) Mohs hat es ſehr zweckmäßig abgeändert.

Der **Spiegelſextant** dient zur Meſſung des Winkels, den die vom Auge nach zwei entfernten Puncten gehenden geraden Linien einſchließen. Er beſteht aus einem in Grade getheilten Bogen von 60°, auf deſſen Ebene ein fixer, nur zur Hälfte belegter Glasſpiegel A und in deſſen Mittelpunct ein um denſelben beweglicher, ganz belegter Spiegel B aufgeſtellt iſt. Die ſpiegelnde Fläche des erſteren iſt dem Auge zugekehrt, welches durch den unbelegten Theil deſſelben nach entfernten Gegenſtänden ſehen kann; der zweite kehrt ſeine ſpiegelnde Fläche den Gegenſtänden zu, auf welche ſich die Winkelmeſſung bezieht, und ſendet nach Verſchiedenheit ſeiner Stellung die von denſelben ausgehenden Strahlen auf den Spiegel A, die dann von dieſem durch abermalige Reflexion ins Auge gelangen. Stellt man den beweglichen Spiegel B ſo, daß man einen entfernten Gegenſtand durch den unbelegten und im belegten Theile von A ſo ſieht, als wäre der ganze Spiegel A unbelegt (in welchem Falle die Ebenen von A und B einander parallel ſind), und wendet dann B dergeſtalt, daß das Bild eines zweiten Gegenſtandes mit dem durch den unbelegten Theil von A geſehenen erſten Gegenſtande coincidirt; ſo gibt das Doppelte des Winkels, um welchen B gedreht wurde, welchen man mittelſt eines mit B feſt verbundenen Lineals am Gradbogen ablieſt, den Winkel der nach beiden Gegenſtänden gezogenen Linien an. Mit einem Sextanten kann man unmittelbar nur Winkel meſſen, die 120° nicht überſchreiten; ein Spiegelkreis geſtattet auch die Meſſung größerer Winkel.

Wheatſtone's Anwendung eines um eine Axe ſich drehenden Planſpiegels zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit der Elektricität, wie dieß in 94 erklärt wurde, gründet ſich auf folgenden Satz: Es ſey MN (Fig. 271) ein Planſpiegel, AB der einfallende Strahl, BO der reflectirte. Der Spiegel komme in die Lage $M'N'$, ſo daß er um den Winkel MBM' von ſeiner früheren Poſition abweicht; ſo wird jetzt BO' die Richtung des reflectirten Strahles werden und dabei iſt $OBO' = 2\,MBM'$. Denn es iſt $NBO = MBA$, $N'BO' = M'BA$, mithin

$NBO - N'BO' = MBA - M'BA$, d. h $OBO' - NBN' = MBM'$, oder wegen $NBN' = MBM'$, $OBO' = 2\,MBM'$. Dadurch iſt die am angeführten Orte gemachte Berechnung begründet.

Das **Zauberperſpectiv**, der **Opern- und Wallgucker** beruhen auch auf den Geſetzen der Reflexion des Lichtes, haben aber bis jetzt keine ernſte Anwendung gefunden.

242. Wenn die von einem Spiegel reflectirten Strahlen auf einen zweiten Spiegel auffallen, ſo werden ſie natürlich ſo von ihm zurückgeworfen, als wenn ſie von einem Gegenſtande kämen, der ſich an der Stelle des Bildes im erſten Spiegel befindet; dasſelbe geſchieht mit den vom zweiten Spiegel reflectirten Strahlen, wenn ſie auf einen dritten auffallen, und ſo fort. Steht daher ein Gegenſtand zwiſchen zwei parallelen Spiegeln, ſo entſteht von ihm durch wiederholte Reflexionen eine unendliche Anzahl Bilder, wovon aber nur die erſteren eine ſolche Lichtſtärke haben, daß ſie geſehen werden können. Sind die Ebenen der Spiegel gegen einander geneigt, ſo geben ſie von einem dazwiſchen ſtehenden Gegenſtande nur eine endliche Anzahl Bilder; denn damit die von dem einen Spiegel reflectirten Strahlen im andern ein Bild geben, muß das Bild im erſtgenannten Spiegel auf derſelben Seite liegen, welcher die ſpiegelnde Fläche des andern zu-

gekehrt iſt, eine Bedingung, welche nur (n — 1) mal Statt findet, wenn der Neigungswinkel der Spiegel $\frac{360}{n}$ Grade enthält. Deßhalb geben ſolche Winkelſpiegel von einem Gegenſtande auch nur (n — 1) Bilder. Dieſe erſcheinen ſymmetriſch rings um die Axe der Spiegel, und gewähren nicht ſelten einen ſehr überraſchenden Anblick, den man ſich durch eine artige Vorrichtung, nämlich durch das ſogenannte Kaleidoſkop (Gilb. Ann. 59. 341) verſchaffen kann.

243. Außer den ebenen Spiegeln gibt es auch noch gekrümmte und zwar ſoll die Krümmung einer beliebigen krummen Linie folgen. Die am leichteſten praktiſch ausführbaren und daher am häufigſten vorkommenden ſind die ſphäriſch gekrümmten. Je nachdem ſie an der hohlen oder erhabenen Fläche ſpiegeln, heißen ſie Hohl- (Concav-) oder Convexſpiegel. Es ſey MN (Fig. 272) der Durchſchnitt eines ſphäriſchen Hohlſpiegels, mit einer durch den Mittelpunct C ſeiner Krümmung gelegten Ebene. Iſt A ein leuchtender Punct vor dem Spiegel in dieſer Ebene, ſo wird er einen Lichtkegel auf ihn ſenden, wovon hier nur zwei Strahlen betrachtet werden ſollen, nämlich der durch den Mittelpunct C gehende ACD, und ein anderer AE. Da das Einfallsloth auf D der Halbmeſſer CD iſt, ſo muß ACD nach DCA zurückgeworfen werden; dieſen in ſich ſelbſt zurückkehrenden Strahl nennt man den Hauptſtrahl des Punctes A. Der andere Strahl AE, zu dem das Einfallsloth EC gehört, bekommt durch Reflexion die Richtung EF, welche durch den Winkel CEF = CEA beſtimmt wird. Die Lage des reflectirten Strahles EF gegen den Hauptſtrahl AD findet man, in der Vorausſetzung, daß die Dimenſionen des von den Strahlen getroffenen Stückes der ſpiegelnden Fläche gegen den Halbmeſſer derſelben ſehr klein ſind, mithin der Winkel DCE ſehr klein iſt, auf folgende Weiſe: Es ſey $CD = 2p$, $AD = a$, $FD = \alpha$. Da der Winkel AEF durch EC halbirt wird, ſo hat man im Dreiecke AEF

$$AE : FE = AC : CF.$$

Aber man kann, wegen der Kleinheit des Winkels DCE, ohne merklichen Fehler AE und AD, ferner FE und FD als gleiche Linien behandeln, mithin auch $AE = a$ und $FE = \alpha$ ſetzen; dem gemäß gibt dieſe Proportion

$$a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha,$$

mithin

$$a(2p - \alpha) = \alpha(a - 2p), \text{ oder } ap + \alpha p = a\alpha,$$

woraus durch Diviſion mit $ap\alpha$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ folgt.}$$

Dieſer Gleichung gemäß iſt

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \text{ und } \alpha = \frac{ap}{a - p}.$$

244. Aus dieſer Gleichung leitet man leicht folgende, jedoch nur unter obiger Vorausſetzung geltende Geſetze für ſphäriſche Hohlſpiegel ab: 1) Für $a = \infty$ iſt $\alpha = p$, d. i. Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Puncte auf den Hohlſpiegel auffallen, mithin parallel ſind, vereinigen ſich nach der Reflexion im Hauptſtrahle in einer dem halben Radius gleichen Entfernung vom Spiegel. Dieſer Vereinigungspunct paralleler Strahlen heißt Brennpunct (focus), ſeine Entfernung vom Spiegel (Vereinigungsweite) Brennweite, weil man in dieſem Puncte brennbare Körper mittelſt des Sonnenlichtes anzünden kann, ein Umſtand, der den Hohlſpiegeln auch den Namen Brennſpiegel erworben. 2) Je kleiner a, deſto größer wird α, d. i. je mehr ſich der leuchtende Punct dem Spiegel nähert oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto mehr entfernt ſich der Vereinigungspunct der Strahlen vom Spiegel. Stets aber iſt für $a > 2p$, $\alpha < 2p$, aber zugleich $\alpha > p$. 3) Für $a = 2p$, wird auch $\alpha = 2p$, mithin fällt der Vereinigungspunct der reflectirten Strahlen mit dem leuchtenden Puncte zuſammen, wenn ſich letzterer im Mittelpuncte der Krümmung befindet. 4) Iſt $a < 2p$ aber doch $a > p$, ſo iſt $\alpha > 2p$, d. h. befindet ſich der leuchtende Punct innerhalb des Mittelpunctes der Krümmung, ſo fällt der Vereinigungspunct der Strahlen außer dieſen Mittelpunct. 5) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, mithin vereinigen ſich die Strahlen, welche vom Brennpuncte ausgehen, nach ihrer Reflexion erſt in einer unendlich großen Entfernung vom Spiegel, d. h. ſie werden gleichlaufend. 6) Wird $a < p$, ſo bekommt α einen negativen Werth, d. h. ſteht der leuchtende Punct innerhalb der Brennweite, ſo werden ſeine Strahlen ſo reflectirt, als kämen ſie von einem Puncte hinter dem Spiegel her, oder ſie bleiben divergirend.

Dieſe Reſultate gelten nicht für Strahlen, bei welchen die Bedingung fehlt, daß der zum Einfallspuncte gehörende Halbmeſſer mit dem Hauptſtrahle einen ſehr kleinen Winkel bildet. Unter dieſen treffen nur diejenigen, welche gegen den Hauptſtrahl einerlei Neigung haben, in einem Puncte des letzteren Strahles zuſammen; es hängt nämlich die Lage des Punctes F, in welchem der Hauptſtrahl A D von dem reflectirten Strahle E F durchſchnitten wird, von der Größe des Winkels E C D und folglich von jener des Winkels E A D ab. Aus obiger Proportion läßt ſich zeigen, daß unter einerlei Umſtänden D F abnimmt, wenn E weiter von D wegrückt. Es wird daher E F von einem unendlich nahe liegenden, in der Ebene E A D reflectirten Strahle oberhalb A D geſchnitten; alle Durchſchnittspuncte je zweier benachbarten in einerlei Ebene reflectirten Strahlen geben eine Linie von eigener Krümmung, die man cauſtiſche Linie nennt, und alle cauſtiſchen Linien zuſammen beſtimmen eine krumme Fläche, welche cauſtiſche Fläche heißt. In der Nähe derſelben iſt die Intenſität des Lichtes am größten; man kann dieß an der herzförmigen Linie ſehen, die ſich innerhalb eines cylindriſchen Gefäßes oder eines Ringes zeigt, wenn dieſe Gegenſtände ſtark beleuchtet ſind.

Einen Brennpunct gibt es nicht bloß bei den eben betrachteten ſphäriſchen Hohlſpiegeln, ſondern auch bei vielen hohlen Spiegeln, die nach anderen Curven gekrümmt ſind. Ein ſolcher iſt der

Brennpunct eines nach einer Parabel gekrümmten Spiegels für Strahlen, die der Axe derſelben parallel ſind, wie ſich aus der Grundeigenſchaft dieſer Curve leicht zeigen läßt; desgleichen der eine Brennpunct einer Ellipſe für Strahlen, die von dem andern Brennpuncte ausgehen und an dem Umfange dieſer krummen Linie reflectirt werden.

245. Die durch Reflexion zu einem Puncte vereinigten Strahlen gehen davon ſo aus, als wäre dort der urſprünglich leuchtende Punct, man muß daher an dieſer Vereinigungsſtelle das Bild des leuchtenden Punctes ſehen; ja ſelbſt ſolche Strahlen, die durch Reflexion nur eine Richtung erhalten, als kämen ſie von demſelben Puncte her, wenn ſie ſich auch nie vereinigt haben, müſſen in uns die Empfindung erregen, als wenn ſie wirklich davon herkämen, und deßhalb ſieht man auch in dieſem ſcheinbaren Vereinigungspuncte ein Bild. Aus dieſem folgt, daß durch einen Hohlſpiegel immer ein Bild entſteht, wenn ſich der leuchtende Punct nicht in dem Brennpuncte befindet, und daß dieſes Bild vor dem Spiegel erſcheint, ſo lange der leuchtende Punct außer der Brennweite iſt, hingegen hinter demſelben, wenn er ſich innerhalb der Brennweite befindet. Daß durch dieſe Geſetze zugleich der Ort des Bildes eines ausgedehnten Gegenſtandes gegeben iſt, verſteht ſich wohl von ſelbſt.

246. So lange das Bild eines Gegenſtandes vor dem Hohlſpiegel erſcheint, iſt es immer verkehrt; es wächſt an Ausdehnung, ſo wie es ſich vom Krümmungsmittelpuncte des Spiegels entfernt, und kann daher größer oder kleiner ſeyn, als der Gegenſtand. Iſt nämlich A B (Fig. 273) der Durchſchnitt eines Hohlſpiegels, C der Mittelpunct ſeiner Krümmung, AB ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint A in dem Puncte a des Hauptſtrahles ACD, und B im Puncte b des Hauptſtrahles BCE; die Bilder der zwiſchen A und B gelegenen Puncte liegen zwiſchen a und b, ſo daß b a das ganze Bild von AB vorſtellt, welches offenbar vor dem Spiegel MN und verkehrt erſcheint. Zur Beſtimmung der Größe von ab kann man ohne Fehler annehmen

$$ab : AB = Ca : CA \text{ oder } \frac{ab}{AB} = \frac{Ca}{CA}.$$

Sobald das Bild hinter dem Spiegel erſcheint, iſt es immer aufrecht und übertrifft den Gegenſtand an Größe; denn für dieſelbe Bedeutung von MN und C in Fig. 274, und unter der Vorausſetzung, daß AB der innerhalb der Brennweite befindliche Gegenſtand ſey, erſcheint das Bild a von A hinter dem Spiegel im Hauptſtrahle CAa, und das von B im Puncte b des Hauptſtrahles CBb, mithin iſt ab das ganze Bild von AB; es ſteht offenbar aufrecht und iſt größer als AB. Von dieſem kann man ſich auf dem Erfahrungswege überzeugen, indem man eine brennende Kerze einem Hohlſpiegel immer mehr und mehr nähert und ihr Bild mit weißem Papier auffängt.

247. Nimmt man in dem für einen Hohlſpiegel entwickelten Ausdruck p negativ, d. h. ſchreibt man —p ſtatt p, ſo entſteht daraus die Formel

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right),$$

aus der man die Lage des von einem Converſpiegel reflectirten Strahles gegen ſeinen Hauptſtrahl ableiten kann. Man erſieht daraus leicht, daß für jeden poſitiven Werth von a der Werth von α verneinend ausfällt, und daß daher Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte auf einen Converſpiegel fallen, ſo reflectirt werden, als kämen ſie von einem Puncte hinter dem Spiegel. In dieſem Puncte erſcheint daher das Bild jenes Punctes. Da α deſto größer wird, je größer p und a iſt, ſo muß die Entfernung dieſes Bildes vom Spiegel deſto größer ausfallen, je weiter der leuchtende Punct vom Spiegel entfernt und je größer der Krümmungshalbmeſſer des Spiegels iſt.

248. Das Bild eines leuchtenden Gegenſtandes in einem Converſpiegel muß dieſem gemäß auch hinter der Spiegelfläche entſtehen. Es erſcheint aufrecht und verkleinert; letzteres deſto mehr, je näher es am Centrum des Spiegels erſcheint. Denn iſt MN (Fig. 275) ein Durchſchnitt eines Converſpiegels, C der Mittelpunct ſeiner Krümmung, AB ein leuchtender Gegenſtand, und erſcheint das Bild von A im Puncte a des Hauptſtrahles AB, das von B im Puncte b ſeines Hauptſtrahles BC; ſo kann ab das Bild von AB vorſtellen, und man kann die Proportion annehmen

$$ab : AB = aC : AC.$$

249. Mehr zur Unterhaltung, als zum wiſſenſchaftlichen Behufe hat man cylindriſche und coniſche Spiegel. Erſtere können der Höhe nach als ebene, der Breite nach als convere oder concave Spiegel angeſehen werden, je nachdem die erhabene oder hohle Fläche des Cylinders ſpiegelt, und deßhalb erſcheinen in ihnen die Bilder der Gegenſtände in natürlicher Länge, aber in verjüngter oder vergrößerter Breite. Coniſche ſind der Höhe nach plan, der Breite nach aber conver, und zwar gegen die Spitze des Kegels immer mehr; daher erſcheinen in ihnen die Bilder in natürlicher Höhe, aber mit ſtets nach oben abnehmender Breite. Es iſt begreiflich, daß, ſo wie durch dieſe Spiegel die Bilder wohl proportionirter Gegenſtände verzogen und verunſtaltet erſcheinen, jene der nach einer gewiſſen Regel verunſtalteten vom ſchönſten Bau geſehen werden können. Hierauf beruhen die ſogenannten katoptriſchen Anamorphoſen. (Siehe: Jac. Leupold anamorphosis mechanica nova. Leipz. 1714. Schmidt's analytiſche Optik. Göttingen, 1834. S. 296.)

Die Geſetze der Reflexion des Lichtes und mehrere Eigenſchaften der Spiegel, insbeſondere die Brennſpiegel, waren bereits den Alten bekannt. Eine gründliche Darſtellung dieſer Lehre hat man aber erſt ſeit den letzteren Jahrhunderten.

———

Drittes Kapitel.

Gewöhnliche Brechung des Lichtes.

250. Wenn ein Lichtſtrahl auf einen durchſichtigen Körper fällt, ſo wird, beſondere erſt ſpäter zu betrachtende Fälle ausgenommen, ein Theil deſſelben reflectirt, er geht in das vorige Mittel zurück und befolgt Geſetze, die im vorhergehenden Kapitel abgehandelt worden ſind. Ein anderer Theil des Lichtes aber dringt (wenigſtens im Allgemeinen) in den durchſichtigen Körper ein und wird nach Geſetzen darin fortgepflanzt, die jetzt erörtert werden ſollen. Die Folge wird lehren, daß ein gewöhnlicher Sonnenſtrahl bei der Brechung in farbige Beſtandtheile zerlegt werde, die nach Verſchiedenheit ihrer Farbe eine verſchiedene Ablenkung erleiden. Hier wird von dieſer Zerlegung in farbige Theile abgeſehen und jeder Strahl ſo behandelt, als könnte er eine ſolche Zerlegung nicht erleiden. Außerdem muß noch bemerkt werden, daß in gewiſſen kryſtalliſirten, überhaupt in ſolchen durchſichtigen Körpern, die nicht nach allen Richtungen einerlei Elaſticität zeigen, ein eindringender Strahl in zwei geſonderte Strahlenbündel zerfällt, alſo zwei gebrochene Strahlen liefert, während in den übrigen Medien aus dem einfallenden Strahle nur ein ſolcher Bündel entſteht. Dieß veranlaßt die einfache Brechung des Lichtes, welche die gewöhnlich vorkommende iſt, von der doppelten Brechung zu unterſcheiden. Das gegenwärtige Kapitel handelt nur von der erſteren. Der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe, d. i. mit der Senkrechten im Einfallspuncte auf die Trennungsfläche der an einander grenzenden Medien macht, heißt der Einfallswinkel, der Winkel des gebrochenen Strahles mit dem Einfallslothe der Brechungswinkel. Die Ebene des erſteren Winkels heißt die Einfallsebene, jene des letzteren die Brechungsebene.

251. Die Geſetze, nach welchen ſich die gewöhnliche Brechung des Lichtes richtet, hat man ſeit langer Zeit auf dem Wege der Erfahrung ausgemittelt. Sie ſind folgende: 1) Der gebrochene Strahl liegt in der Einfallsebene und rückſichtlich des einfallenden auf der entgegengeſetzten Seite des Einfallslothes. 2) Für daſſelbe brechende Mittel iſt das Verhältniß zwiſchen den Sinuſſen des Einfalls- und Brechungswinkels beſtändig und unabhängig von der Neigung des einfallenden Strahles gegen das Einfallsloth. Iſt daher der Einfallswinkel $= a$, ferner der Brechungswinkel $= b$, ſo iſt $\sin a : \sin b = n : 1$ oder $\frac{\sin a}{\sin b} = n$, wo n die Zahl bedeutet, die immer denſelben Werth hat, ſo lange ſich das Mittel, aus welchem der Strahl kommt, und dasjenige, wohin er geht, nicht ändert. Man nennt ſie den Exponenten des Brechungsverhältniſſes für beide Mittel,

oder kürzer den **Brechungsindex**, auch den **Brechungsexponenten**. 3) Iſt n der Brechungsindex für den Uebergang des Lichtes aus einem Mittel A in ein anderes B, d. h. verhält ſich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie n : 1, ſo iſt für den Uebergang des Lichtes aus dem Medium B in A das Brechungsverhältniß $= 1 : n$, mithin der Brechungsindex $= \frac{1}{n}$, d. h. der reciproke Werth desjenigen, der bei dem umgekehrten Gange des Lichtes Statt findet. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß bei dem Durchgange des Lichtes durch einen von parallelen Ebenen begrenzten Körper, welcher beiderſeits von einerlei Mittel umgeben iſt, der aus dieſem Körper tretende Strahl ſtets dem eintretenden parallel iſt. 4) Iſt für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium A in ein anderes B der Brechungsexponent $= n$, und für den Uebergang von dieſem Medium B in ein drittes C der Brechungsexponent $= m$, ſo beſteht für den unmittelbaren Uebergang des Lichtes aus dem Medium A in C der Brechungsexponent mn. Auch dieſes folgt aus der Erfahrung, daß ein Lichtſtrahl, der durch zwei Schichten verſchiedener Mittel, deren Grenzflächen parallel ſind, von einem Medium ausgehend, wieder in dieſes gelangt, ſeiner urſprünglichen Richtung parallel austritt. 5) Erhält für eine gewiſſe Größe des Einfallswinkels der Sinus des Brechungswinkels, in Folge des beſtehenden Brechungsverhältniſſes, einen die Einheit überſteigenden Werth, in welchem Falle der Brechungswinkel imaginär wird; ſo findet auch kein Uebergang des Lichtes in das zweite Mittel Statt, ſondern dasſelbe kehrt nach dem Reflexionsgeſetze in das erſte Medium zurück. Man ſagt dann, das Licht erleide eine **totale Reflexion**. Da, wenn a der Einfalls-, b der Brechungswinkel, n der Brechungsindex iſt, die Gleichung $\sin b = \frac{1}{n} \sin a$ beſteht, und $\sin a$ nicht größer werden kann als die Einheit, ſo kann dieſer Fall nur dann eintreten, wenn $n < 1$ iſt. Dieß vorausgeſetzt, wird bei einem Einfallswinkel, deſſen Sinus größer als n iſt, $\sin b > 1$. Für $\sin a = n$ ergibt ſich $\sin b = 1$, mithin $b = 90^\circ$. Bei dieſem Werthe von a, der die Grenze zwiſchen den Einfallswinkeln iſt, bei welchen Brechung und totale Reflexion obwaltet, ſtreift der gebrochene Lichtſtrahl längs der Trennungsfläche der beiden Mittel hin. Wenn $n < 1$ iſt, ſo iſt ſtets $\sin b > \sin a$, mithin auch der Brechungswinkel b größer als der Einfallswinkel a (Fig. 276). In dieſem Falle ſagt man, die Brechung des Lichtes erfolge **vom** Einfallslothe, und das Mittel, aus dem das Licht kommt, breche dasſelbe ſtärker als jenes, wohin es geht. Es findet demnach die totale Reflexion des Lichtes nur bei deſſen Uebergang von einem ſtärker brechenden Mittel in ein ſchwächer brechendes Statt. Iſt aber $n > 1$, mithin $a > b$ (Fig. 277), ſo heißt es, die Brechung des Lichtes erfolge **zum** Einfallslothe. Von zwei Mitteln, welche bei dem Uebergange des Lichtes aus einem

dritten Mittel in ſelbe, es beide zum Einfallslothe brechen, wird jenes das ſtärker brechende genannt, dem der größere Brechungsindex entſpricht.

Bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in ein materielles Mittel erfolgt Brechung des Lichtes zum Einfallslothe; ein Gleiches geſchieht bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Waſſer, Glas ꝛc. Doch iſt der Satz, den man ehemals häufig ausſprechen hörte, »bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dünnen Mittel in ein dichteres werde es zum Einfallslothe, mithin bei dem Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres vom Einfallslothe gebrochen,« unrichtig und kann nur zugelaſſen werden, wenn beide Mittel dieſelbe materielle Beſchaffenheit und einerlei Aggregationszuſtand haben und ihre optiſche Heterogeneität lediglich der Verſchiedenheit ihrer Dichte verdanken. Brennbare Körper zeichnen ſich vor anderen durch ihr großes Lichtbrechungs-Vermögen aus, wie z. B. ätheriſche Oehle, Weingeiſt, Aether, Schwefelkohlenſtoff, der Diamant, deſſen Brennbarkeit darnach, ehe ſeine chemiſche Natur bekannt war, vermuthet wurde

Das Geſetz der einfachen Brechung des Lichtes kennt man erſt ſeit der Mitte des 17. Jahrhunderts, Es wird von Einigen dem Descartes, von Anderen dem Snellius zugeſchrieben.

252. Den angeführten Geſetzen der einfachen Brechung gemäß läßt ſich, wenn der Brechungsindex n gegeben iſt, aus der Richtung des einfallenden Strahles jene des gebrochenen und umgekehrt, mittelſt einer leichten geometriſchen Conſtruction finden. Wir wollen hier annehmen, die Fläche, in welcher beide Medien an einander grenzen, ſey eine Ebene; wäre dieß nicht der Fall, ſo ſetze man an die Stelle der Ebene, von der im Folgenden die Rede iſt, diejenige, durch welche die krumme Fläche in dem Einfallspuncte berührt wird. Dieß vorausgeſetzt ſey B (Fig. 278) der Punct, in welchem der einfallende Strahl die Trennungsebene MN beider Medien trifft. Man beſchreibe in der Einfallsebene aus B als Mittelpunct mit Halbmeſſern BF, BG, die ſich zu einander verhalten wie n zu 1, im Innern der brechenden Subſtanz Halbkreiſe. Iſt nun AB die Richtung des einfallenden Strahles, ſo verlängere man ſie, bis ſie den größeren Halbkreis in H ſchneidet, ziehe zu dieſem Puncte die Tangente HK, welche der MN in K begegne, und von letzterem Puncte zu dem andern Halbkreiſe die Tangente KL. Die von B durch den Berührungspunct L gezogene Gerade BLO gibt die Richtung des dem Strahle SA entſprechenden gebrochenen Strahles an. Daß dieſelbe wirklich mit dem angeführten Brechungsgeſetze im Einklange ſteht, erhellet auf folgende Weiſe: Es ſey PBQ das Einfallsloth, ſo iſt wegen der rechten Winkel bei H und L der Einfallswinkel $ABP = BKH$ und der Brechungswinkel $QBO = BKL$. Die Dreiecke BKH, BKL geben $\sin BKH : 1 = BH : BK$; $\sin BKL : 1 = BL : BK$, mithin
$\sin BKH : \sin BKL = BH : BL$, oder
$\sin ABP : \sin QBO = BF : BG = n : 1$.

Es hat alſo hier wirklich der Sinus des Brechungswinkels zu jenem des Einfallswinkels das gehörige Verhältniß. Umgekehrt er-

hält man zu jeder Richtung BO des gebrochenen Strahles die des einfallenden, wenn man zu dem Durchſchnittspuncte L über BO mit dem kleinen Halbkreiſe die Tangente LK zieht, die den Punct K in der MN anzeigt, von welchem die Tangente KH zum größeren Halbkreiſe auszugehen hat, deren Berührungspunct H die Richtung des einfallenden Strahles ABH beſtimmt. Iſt der Brechungsexponent kleiner als 1, alſo BF < BG, ſo wird, ſobald der Punct K, in welchem die dem einfallenden Strahle zugehörende Tangente HK die MN ſchneidet, zwiſchen F und G fällt, die Brechung unmöglich, und es ſtellt ſich die totale Reflexion ein.

253. Um den Brechungsexponenten für den Uebergang einer beſtimmten Lichtſorte aus der Luft in einen durchſichtigen Körper zu beſtimmen, wendet man letzteren am zweckmäßigſten in der Geſtalt eines dreiſeitigen Priſma's mit ebenen Seitenflächen an und beobachtet die durch Brechung in demſelben veranlaßte Ablenkung eines hindurchgehenden Strahles von ſeiner urſprünglichen Richtung. Es ſey ABC (Fig. 279) ein Querſchnitt eines ſolchen Priſma's, der auf der Axe deſſelben ſenkrecht ſteht, und es falle ein Strahl SD in der Ebene des Schnittes auf die Fläche AB. Iſt ED das Einfallsloth und der Stoff des Priſma's von der Art. daß der Strahl in ihm zum Einfallslothe gebrochen wird, ſo kann DF den gebrochenen Strahl vorſtellen. Dieſer wird aber beim Austritte aus dem Priſma in F wieder gebrochen, und zwar vom Einfallslothe FH, ſo daß er nach der zweiten Brechung die Richtung FG hat. Es iſt nicht ſchwer, durch Rechnung den Zuſammenhang zwiſchen dem Einfallswinkel SDE, dem brechenden Winkel ABC des Priſma's, dem Winkel GKx, den der gebrochene Strahl mit dem einfallenden macht, und dem Werthe von n zu finden. Um dieſe Größe für Flüſſigkeiten zu beſtimmen, wählt man ein hohles Priſma, das aus Glastafeln mit vollkommen parallelen Wänden beſteht, füllt die Flüſſigkeit ein und behandelt ſie nun wie einen feſten Körper. Bei der Prüfung von Gaſen und Dünſten muß dieſes Priſma mit einem Barometer und einem Thermometer in Verbindung ſtehen, um die Spannkraft und Dichte der Luft immer angeben zu können. Oft muß man aber auch die Dichte der Luft nach Belieben ändern können.

Durch theoretiſche, auf eine beſtimmte Hypotheſe über die Natur des Lichtes ſich ſtützende Gründe geleitet, nannte man, wenn n den Brechungsexponenten für den Uebergang des Lichtes aus dem leeren Raume in ein Medium, d die Dichte dieſes Mediums bedeutet, den Ausdruck $n^2 - 1$ die brechende Kraft, $\frac{n^2 - 1}{d}$ aber das ſpeciſiſche Brechungsvermögen eines Mediums. Folgendes ſind die Werthe genannter Größen für einige Körper:

A. Feſte Körper.

	d	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$
Diamant	3.521	2.487	5.185	1.473
Saphir	4.000	1.794	2.218	0.554
Topas, gelber	3.550	1.638	1.684	0.474
Beryll	2.650	1.598	1.554	0.586
Zucker	1.606	1.554	1.415	0.943
Phosphor	1.770	2.424	3.946	2.230

B. Tropfbare Körper.

	d	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$
Schwefelkohlenſtoff	1.272	1.643	1.699	1.336
Terpentinöhl	0.885	1.476	1.178	1.332
Alkohol	0.825	1.374	0.885	1.076
Waſſer	1.000	1.336	0.785	0.785
Schwefelſäure	1.841	1.440	1.074	0.583
Salpeterſäure	1.480	1.406	0.977	0.660
Salzſäure	1.156	1.376	0.893	0.776

C. Gaſe, bei 0° C. und 0m 76 M. Barometerſtand.

	d	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$
Atmoſphäriſche Luft	1.000	1.000294	0.000589	0.000589
Sauerſtoffgas	1.103	1.000272	0.000544	0.000493
Waſſerſtoffgas	0.069	1.000138	0.000277	0.004073
Stickgas	0.976	1.000300	0.000601	0.000616
Ammoniakgas	0.591	1.000385	0.000771	0.001304
Kohlenſäuregas	1.524	1 000449	0.000899	0.000581
Chlorgas	2.470	1.000772	0.001545	0.000624
Salzſäuregas	1.254	1.000449	0.000899	0.000717
Stickoxydulgas	1.527	1.000503	0.001007	0.000659
Stickoxydgas	1.039	1.000303	0.000606	0.000583
Kohlenoxydgas	1.972	1.000340	0.000681	0 000342
Cyangas	1.819	1.000834	0.001668	0.000917
Oehlbildendes Gas	0.980	1.000678	0 001356	0.001384
Sumpfgas	0.559	1.000443	0.000886	0.001602
Schwefeligſaures Gas	2.247	1.000665	0.001331	0.000059
Schwefelwaſſerſtoffgas	1.178	1.000644	0.001288	0.001093
Schwefelkohlenſtoffgas	2.644	1.00150	0.003010	0.001138

Die brechende Kraft eines Gaſes iſt genau ſeiner Dichte proportionirt. Daſſelbe gilt nach Dulong für Dünſte, ſo lange ſie noch weit vom Maximum ihrer Spannkraft entfernt ſind; in der Nähe dieſer Grenze aber wächſt ihre brechende Kraft in einem größeren Verhältniß als ihre Dichte. Die Temperatur ändert das Brechungsvermögen eines Gaſes nicht, wenn ſie nicht die Dichte afficirt. Die brechende Kraft eines gemengten Gaſes oder gemengter Dünſte läßt ſich aus den brechenden Kräften der einzelnen in dem Gemenge vorkommenden Körper berechnen; aber die brechende Kraft eines chemiſch zuſammengeſetzten Gaſes ſteht in keiner bekannten Beziehung zu jener ſeiner Beſtandtheile. (Biot und Arago in Gilb. Ann. 25. 345 und 365; 26. 36. Dulong in Pogg. Ann. 6. 373.)

254. Kennt man für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium in ein anderes den Brechungsexponenten und iſt die Geſtalt der Trennungsfläche beider Medien gegeben, ſo läßt ſich nach den früher erklärten Principien zu jeder Richtung des einfallenden Strahles jene des gebrochenen finden. Geht dieſer Strahl wieder aus dem Medium, in welches er eingedrungen iſt, heraus, wobei er abermal eine Brechung erleidet, ſo läßt ſich gleichfalls die Bahn deſſelben angeben, ſelbſt wenn er im Innern des genannten Mediums eine oder mehrere Reflexionen erlitten hätte. Die wichtigſte Anwendung dieſer Lehren iſt die Betrachtung des Ganges des Lichtes durch die ſphäriſchen Linſen, aus welchen die brauchbarſten optiſchen Inſtrumente gebildet werden. Man nennt überhaupt eine ſphäriſche Linſe ein von Kugelflächen begrenztes Mittel. Es gibt mehrere Arten derſelben, und zwar 1) beiderſeits erhabene (Fig. 280), a); 2) auf einer Seite erhabene, auf der anderen ebene (b); 3) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, ſo daß die erhabene Fläche mehr gekrümmt iſt als die hohle (c); 4) auf beiden Seiten hohle (d); 5) auf einer Seite hohle, auf der anderen ebene (e); 6) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, jedoch ſo, daß die erhabene Fläche weniger gekrümmt iſt als die hohle (f). Die Linie AB, in welcher die Mittelpuncte der Krümmungen einer Linſe liegen, heißt ihre Axe, der Punct der Axe in der Mitte der Linſe heißt der optiſche Mittelpunct, und eine Linſe heißt centrirt, wenn alle ihre Theile um dieſe Axe ſymmetriſch liegen. Nur von ſolchen Linſen ſoll hier die Rede ſeyn. Man wendet gewöhnlich nur Glaslinſen an, verfertigt ſie aus weißem Spiegelglaſe, oder zu einem beſonderen Zwecke aus dem Flintglaſe, wohl auch aus gläſernen Schalen, die mit einer durchſichtigen Flüſſigkeit gefüllt werden. Die Formen a, b, c nennt man in dieſen Fällen aus ſpäter zu erörternden Gründen Sammellinſen, die Formen d, e, f Zerſtreuungslinſen. Fresnel ſchlug Linſen vor, die aus mehreren Ringen zuſammengeſetzt werden (polyzonale Linſen). In beſonderen Fällen ſind Linſen aus reinen, durchſichtigen Edelſteinen von Nutzen.

255. Ein Lichtſtrahl Sx (Fig. 281), welcher in der Richtung der Axe auf eine doppelt convexe Linſe fällt, geht ungebrochen durch dieſelbe, weil die Tangenten der Puncte A und B, welche er trifft,

mit einander parallel ſind und es daher gerade ſo iſt, als ginge er durch ein von parallelen Wänden begrenztes Mittel; jeder andere Strahl erleidet aber eine Ablenkung. Um dieſe zu beſtimmen, ſey SDy ein Strahl, der mit der Axe einen ſehr kleinen Winkel bildet, C und c die Mittelpuncte der Krümmungen der Linſe, D der Einfallspunct des Strahles Sy, cDz das Einfallsloth, DE die Richtung des Strahles nach der erſten Brechung, G der Einfallspunct beim Austritte aus der Linſe, CG das Einfallsloth, GF der Strahl nach der zweiten Brechung, und n der Brechungsexponent für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Material der Linſe. Man ſetze der Kürze halber $SA = a$, $AF = \alpha$, $AE = k$, $CG = f$, $cD = g$, vernachläßige die Dicke AB der Linſe, und nehme $SD = SA$, $DE = BE$ an, welches bei der vorausgeſetzten, ſehr geringen Größe des Bogens AD wohl geſchehen kann.

Es iſt dem Geſetze der Brechung gemäß

$$\sin SDz : \sin cDE = n : 1,$$

ferner geben die Dreiecke SDc, cDE

$$\sin DcS : \sin SDc = SD : Sc$$
$$\sin cDF : \sin DcE = cE : DE.$$

Verbindet man dieſe drei Proportionen durch Multiplication, und bedenkt, daß $\sin SDz = \sin SDc$ und $\sin DcS = \sin DcE$ iſt, ſo erhält man

$$Sc \,.\, DE = n \,.\, SD \,.\, cE, \text{ d. h. } (a+g)\, k = na\,(k-g),$$

mithin

$$nag + gk = (n-1)ak, \text{ und hieraus durch Diviſion mit } agk$$

$$\frac{n}{k} + \frac{1}{a} = (n-1)\frac{1}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Für die Brechung des Strahles DE an der zweiten Fläche der Linſe findet eine ähnliche Gleichung Statt, die man ſogleich aus (1) erhält, wenn man daſelbſt n, g, a, k gegen $\frac{1}{n}$, $-f$, $-k$, α umtauſcht. Hierdurch wird

$$\frac{1}{n\alpha} - \frac{1}{k} = -\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{1}{f} \quad \text{oder}$$

$$\frac{1}{\alpha} - \frac{n}{k} = (n-1)\frac{1}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Addirt man die Gleichungen (1) und (2), ſo hat man:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad . \quad (A).$$

256. Aus dieſer Gleichung kann man die Brechungsgeſetze des Lichtes in Linſen für Strahlen, die von der Axe ſehr wenig abweichen, leicht beſtimmen. Sie gibt 1) für $a = \infty$, $\frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$ d. h. die Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Puncte

herkommen oder die parallel auffallen, vereinigen ſich in einem Puncte hinter der Linſe. Man heißt dieſen Punct den **Brennpunct** (focus), und ſeine Entfernung von der Linſe die **Brennweite**. Setzt man die Brennweite $=p$, ſo wird

$$\frac{1}{p}=(n-1)\left(\frac{1}{f}+\frac{1}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B),$$

und daher aus (A)

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p} \text{ oder } \frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p}-\frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad (C).$$

2) Je kleiner a iſt, deſto größer wird α, d. i. je näher der leuchtende Punct an die Linſe rückt oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto weniger convergirend ſind ſie nach der Brechung. 3) Für $a=2p$ wird auch $\alpha=2p$, d. h. ſteht der leuchtende Punct in der doppelten Brennweite vor der Linſe, ſo vereinigen ſich die von ihm ausgehenden Strahlen in derſelben Entfernung hinter der Linſe. 4) Für $a=p$ wird $\alpha=\infty$, d. i. wenn ſich der leuchtende Punct im Brennpuncte befindet, werden die Strahlen durch die Brechung parallel. 5) Für $a<p$ wird der Werth von α negativ, d. i. wenn ſich der leuchtende Punct innerhalb der Brennweite befindet, ſo bleiben die von ihm ausgehenden gebrochenen Strahlen divergirend. 6) Hat a einen negativen Werth, ſo iſt, wenn man $-a$ ſtatt a ſchreibt,

$\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p}+\frac{1}{a}$ mithin $\alpha<a$, d. i. convergirend auffallende Strahlen werden durch eine Converlinſe noch mehr convergirend gemacht. Man ſieht hieraus, daß in den Fällen 1, 3, 5, 6, ein Bild des leuchtenden Punctes in der Are entſteht.

257. Linſen, welche auf einer Seite conver, auf der anderen eben ſind, können ſo angeſehen werden, als hätten ſie an der planen Seite eine Kugelkrümmung, wozu ein unendlich großer Radius gehört. Setzt man daher in der Formel (B) $f=\infty$, ſo erhält man

$\frac{1}{p}=\frac{n-1}{g}$ und erſieht daraus, daß die für beiderſeits convere Linſen aufgeſtellte Formel auch für planconvere gilt und daß der ganze Unterſchied im Werthe der Brennweite beſteht, der bei übrigens gleichen Umſtänden für jene immer kleiner als für dieſe iſt. Dieſelbe Formel gilt auch für **concavconvere** Linſen, wenn man einen Radius negativ nimmt und ſie in

$$\frac{1}{p}=(n-1)\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right)$$

umſtaltet. Iſt nun $f<g$, d. i. der Radius der Converität kleiner als jener der Concavität, ſo fällt p poſitiv aus, und es gehört die Linſe in die Reihe der zwei vorigen. Der Umſtand, daß dieſe drei Gattungen, des poſitiven Werthes der Brennweite wegen, parallele Strahlen immer convergirend zu machen ſuchen, rechtfertiget die denſelben zukommende gemeinſchaftliche Benennung **Sammellinſen**.

Sie heißen auch Brenngläſer, weil ſie das Sonnenlicht im Brennpuncte ſo concentriren, daß man daſelbſt Körper verbrennen kann. Tſchirnhauſen, der es in der Verfertigung der Brenngläſer ſehr weit trieb, verfertigte eines von drei Fuß Oeffnung und zwölf Fuß Brennweite. So große Brenngläſer macht man am leichteſten aus zwei Uhrſchalen, die man zuſammenſetzt und mit Waſſer oder Weingeiſt ausfüllt. Im Brennraume ſolcher Linſen können Metalle geſchmolzen und Erden verglaſet werden.

258. Für eine beiderſeits hohle Linſe wird ſowohl der eine als der andere Halbmeſſer negativ. Deßhalb gilt für ſie die Formel:

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(-\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right) \text{ oder } \frac{1}{p} = -(n-1)\left(\frac{1}{f}+\frac{1}{g}\right),$$

das heißt es fällt p negativ aus. Setzt man in (C) $-p$ ſtatt p, ſo hat man

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (D).$$

Des negativen Werthes der Brennweite wegen werden Strahlen, welche auf eine ſolche Linſe parallel auffallen, durch die Brechung ſo divergirend, als kämen ſie von einem Puncte vor der Linſe her. Dieſer Punct iſt wieder der Brennpunct des Glaſes und ſeine Entfernung von der Linſe die Brennweite. Man nennt ihn nicht ſelten den imaginären Brennpunct, weil ſich daſelbſt die Strahlen nicht wirklich vereinigen. So lange a einen endlichen aber poſitiven Werth hat, iſt α negativ und dem numeriſchen Werthe nach kleiner als a, d. i. divergirend auf dieſe Linſe auffallende Strahlen werden durch die Brechung noch mehr divergirend. Iſt a negativ, d. h. fallen die Strahlen convergirend auf; ſo wird, wenn man in (D) $-a$ an die Stelle von a bringt,

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p}.$$

Iſt $a > p$, ſo wird α negativ oder die Strahlen werden divergirend. Iſt $a = p$, ſo wird $\alpha = \infty$ oder die Strahlen werden parallel. Iſt endlich $a < p$, ſo wird α poſitiv oder die Strahlen bleiben convergirend, ſind es aber wegen $\alpha > a$ weniger als vor ihrer Brechung. Wenn man $f = \infty$ ſetzt und aus obiger Formel

$$\frac{1}{p} = -\frac{n-1}{g}$$

macht, ſo hat man ſie für eine planconcave Linſe eingerichtet. Eine ſolche Linſe bringt daher im Allgemeinen dieſelben Wirkungen hervor, wie eine beiderſeits concave. Iſt f poſitiv, g negativ, und überdieß $f > g$, ſo wird die Linſe eine convexconcave, und es zeigt die Formel

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right),$$

daß p negativ wird; demnach dieſe Linſe ebenfalls in die Klaſſe der zwei ſo eben betrachteten gehört. Alle drei zuſammen begreift man des negativen Werthes der Brennweite wegen unter dem Worte Zerſtreuungslinſen.

259. Strahlen, die mit der Axe einen bedeutenden Winkel machen, können nicht ſo wie die vorher betrachteten durch die Linſe in einem Puncte vereiniget werden. Fallen z. B. mehrere ſolche Strahlen auf die Linſe (Fig. 282) auf, und ſchneiden die der Axe AB nächſten dieſelbe in F, ſo werden die anderen, mehr abweichenden ſich einander in f, f′, f″, f‴ ſchneiden, und ſo zu beiden Seiten der Axe die ſymmetriſche Curve f f F f′ f″ bilden, welche man Brennlinie (Caustica) nennt. Dieſe Abweichung kommt von der Geſtalt der Linſe her und heißt Abweichung wegen der Kugelgeſtalt (ſphäriſche Abweichung.) Wegen ihr geben nur die von der Axe wenig abſtehenden Strahlen hinter der Linſe ein deutliches Bild des leuchtenden Punctes. Will man daher ein ſolches Bild erhalten, ſo muß man die gegen den Rand der Linſe einfallenden Strahlen durch eine Blendung abhalten und der Linſe ſolche Krümmungen geben, daß dieſe Abweichung ein Kleinſtes werde.

Bei zwei nahe an einander geſtellten Linſen kann man nach Herſchel (Phil. transact. 1821) dieſe Abweichung ganz heben, bei einer gleichſeitigen Linſe iſt dieſe Abweichung größer als bei einer ungleichſeitigen, bei letzterer größer, wenn die weniger gekrümmte Seite gegen das Object gekehrt iſt, als wenn das Gegentheil Statt findet; bei einer Convexplan- oder bei einer Concavplanlinſe, deren Planſeite gegen das Auge gewendet wird, iſt die Abweichung faſt ſo klein, wie bei einer Linſe, wo ſie auf das Minimum gebracht iſt.

260. Die in 256 angegebene Gleichung (C) gilt auch für einen Punct, der außer der Axe, aber in einer ſehr geringen Entfernung von ihr liegt. Um dieſes zu beweiſen, ſey Ma (Fig. 283) die Axe der Linſe, S der leuchtende Punct außer ihr, C das optiſche Centrum, Ss ein Strahl durch C, SB ein anderer Strahl, und Bs ſein Weg nach der Brechung. Verlängert man die Linie BS, bis ſie die Axe in A ſchneidet, und eben ſo sB nach Belieben bis E; ſo iſt

$$BSs + BsS = BAD + BDA,$$

weil jede dieſer Summen gleich EBA iſt. Liegt nun S in einer ſehr geringen Entfernung von der Axe, und iſt SB wenig gegen Ss geneigt; ſo kann man die genannten Winkel ihren Tangenten proportionirt ſetzen und BC auf SC ſenkrecht annehmen. Dieſem gemäß iſt

$$BSs = \frac{BC}{SC},\ BsS = \frac{BC}{sC},\ BAD = \frac{BC}{AC},\ BDA = \frac{BC}{CD},$$

und daher

$$\frac{BC}{SC} + \frac{BC}{sC} = \frac{BC}{AC} + \frac{BC}{CD} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{AC} + \frac{1}{CD}.$$

Befände ſich der leuchtende Punct in A, ſo wäre

$\frac{1}{AC} + \frac{1}{CD} = \frac{1}{p}$, mithin iſt auch $\frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{p}$.

Es entſteht daher auch von einem leuchtenden Puncte, der außer der Axe, aber nahe an ihr liegt, unter denſelben Umſtänden, wie von einem in der Axe liegenden, ein Bild, und zwar in einer durch den leuchtenden Punct und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie.

261. Befindet ſich *außerhalb* der Brennweite einer Sammellinſe ein leuchtender Gegenſtand, wovon kein Punct gar weit außer der Axe der Linſe liegt, ſo entſteht von jedem Puncte ein Bild hinter der Linſe, in einer durch ihn und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie; die Bilder aller Puncte geben ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes. Wäre z. B. AB (Fig. 284) eine Sammellinſe, F ihr Brennpunct, Ss ein Gegenſtand; ſo entſteht von S das Bild S′, von s das Bild s′, und die Bilder der zwiſchen S und s liegenden Puncte befinden ſich zwiſchen S′ und s′, ſo daß S′s′ das Bild von Ss vorſtellt. Iſt C der optiſche Mittelpunct, ſo wird ohne merklichen Fehler angenommen werden können, $\frac{Ss}{S's'} = \frac{CS}{C'S'}$. So lange alſo $CS > C'S'$, iſt auch $Ss > S's'$. Man ſieht hieraus, daß das Bild deſto größer ausfällt, je näher der Gegenſtand an den Brennpunct rückt. Befindet ſich unter derſelben Vorausſetzung, wie vorher, ein leuchtender Gegenſtand *innerhalb* der Brennweite einer Sammellinſe; ſo entſteht nicht, wie im vorhergehenden Falle, ein wirkliches durch Zuſammentreffen der Strahlen hervorgebrachtes Bild, welches man auf einer hinter der Linſe geſtellten Tafel auffangen kann, ſondern lediglich ein imaginäres, d. h. bloß für ein Auge, welches die aus der Linſe kommenden Strahlen aufnimmt, vorhandenes Bild vor der Linſe in einer größeren Entfernung, als die des Gegenſtandes iſt. Dieſes Bild erſcheint aufrecht und vergrößert. Iſt nämlich wieder AB (Fig. 285) eine Sammellinſe, FC ihre Axe, F der Brennpunct, C der optiſche Mittelpunct, Ss ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint das Bild von s in s′, das von S in S′, mithin das ganze Bild von Ss in S′s′, und kann, vorausgeſetzt daß S′s′ in der Sehweite eines Auges liegt, von demſelben wahrgenommen werden. Da hier wieder, wie vorhin $\frac{S's'}{Ss} = \frac{C's'}{Cs}$ iſt, ſo muß S′s′ immer größer als Ss erſcheinen, und zwar deſto mehr, je näher Ss im Vergleiche mit S′s′ der Linſe liegt, mithin je kleiner die Brennweite derſelben iſt.

262. Zerſtreuungslinſen geben von einem leuchtenden Gegenſtande, er mag ſich *außerhalb* oder *innerhalb* der Brennweite oder gar im Brennpuncte ſelbſt befinden, ein aufrechtes imaginäres Bild vor der Linſe, das ihr näher liegt, als der Gegenſtand, und deßhalb ſtets verjüngt erſcheint. Iſt AB (Fig. 286) eine Zerſtreuungs-

linſe, FC ihre Axe, C der optiſche Mittelpunct, Ss ein leuchtender Gegenſtand, ſo erſcheint s in s', S in S' und Ss in $S's'$. Wegen $C's' < Cs$ muß auch immer $S's' < Ss$ ſeyn.

263. Außer der Brechung des Lichtes bei dem Durchgange durch Linſen hat noch die Brechung und Reflexion deſſelben im Innern einer Kugel für den Phyſiker, wegen der Anwendung auf die Erklärung des Regenbogens, einen höheren Grad von Wichtigkeit. Es ſey SA (Fig. 287) ein Lichtſtrahl, welcher bei A eine Kugel aus einem durchſichtigen Stoffe trifft. Ein Theil des Lichtes wird daſelbſt reflectirt, ein anderer dringt in die Kugel nach der Richtung AB ein. Hievon tritt wieder ein Theil bei B aus der Kugel, ein anderer aber wird nach BC reflectirt, der ſeinerſeits einen reflectirten und einen nach CO austretenden Strahl liefert. Wir wollen das auf ſolche Weiſe nach zwei Brechungen und einer Reflexion aus der Kugel gehende Licht näher unterſuchen. Verlängert man OC bis dieſe Richtung jener von SA in E begegnet, ſo liegen die Puncte E und B in einer Geraden, die durch den Mittelpunct K der Kugel geht. Denn es ſind nach dem Reflexionsgeſetze die Winkel ABK, CBK einander gleich; zieht man nun KAx, KCy, ſo ſind auch die Winkel KAB und KCB, welche den erſtgenannten gleichkommen, einander gleich, folglich nach dem Refractionsgeſetze (251. 3) auch die Winkel SAx, Ocy, mithin hat man auch $KAE = KCE$. Hieraus und aus $KAB = KCB$ folgt die Richtigkeit der ſo eben ausgeſprochenen Behauptung. Setzt man den Einfallswinkel $SAx = \alpha$, den Brechungswinkel $KAB = \beta$, und die Hälfte des Winkels SEO nämlich $AEK = \omega$, ſo hat man wegen $AEK = ABK - BAE = ABK - (KAE - KAB)$ folglich, $\omega = \beta - (\alpha - \beta) = 2\beta - \alpha$. Betrachten wir einen andern ſehr nahe an A und parallel zu SA in der Ebene SEO einfallenden Strahl, ſo wird für dieſen im Allgemeinen ω einen anderen Werth erhalten, die Richtung des austretenden Strahles wird daher jene des benachbarten CO ſchneiden, und befindet ſich in O ein Auge, ſo wird dieſem das Licht von dem Durchſchnittspuncte beider Strahlen herzukommen ſcheinen. Die Folge dieſer Durchſchnittspuncte für alle möglichen in der Ebene SEO mit SA parallel auf die Kugel fallenden und auf gleiche Weiſe gebrochenen und reflectirten Paare einander nächſter Strahlen bildet eine eigene krumme Linie, welche als eine Brennlinie zu betrachten iſt. Es gibt aber unter dieſen ſolche Strahlen, welche gleichfalls parallele austretende Strahlen liefern, woraus folgt, daß dieſe Brennlinie eine Aſymptote habe. Um den Einfallswinkel α und den Ablenkungswinkel ω für dieſe Strahlen kennen zu lernen, bedenke man, daß in Bezug auf dieſelben der Winkel ω ſich nicht ändert, wenn α um eine ſehr kleine Größe α' und in Folge deſſen β um eine ſehr kleine Größe β' geändert wird. Man hat alſo $\omega = 2(\beta + \beta') - (\alpha + \alpha')$. Da aber $\omega = 2\beta - \alpha$ iſt, ſo folgt hieraus $2\beta' - \alpha' = 0$ oder $2\beta' = \alpha'$. Es ſey nun n das Brechungsverhältniß, alſo $\sin\alpha : \sin\beta = n : 1$ oder $\sin\alpha = n \sin\beta$, ſo muß auch $\sin(\alpha + a') = n \sin(\beta + \beta')$

ſeyn. Dieß gibt, weil man wegen der Kleinheit von α' und β, $\sin\alpha' = \alpha'$, $\sin\beta' = \beta'$ und $\cos\alpha' = 1$, $\cos\beta' = 0$ ſetzen darf, nach der Entwicklung von $\sin(\alpha + \alpha')$ und $\sin(\beta + \beta')$ mittelſt der bekannten Formel
$\sin\alpha + \alpha' \cos\alpha = n(\sin\beta + \beta' \cos\beta)$ mithin $\alpha' \cos\alpha = n\beta' \cos\beta$ alſo mit Rückſicht auf die Gleichung $2\beta' = \alpha'$, $2\cos\alpha = n \cos\beta$ Somit iſt $\sin\alpha^2 + 4\cos\alpha^2 = n^2(\sin\beta^2 + \cos\beta^2) = n^2$ oder

$$1 + 3\cos\alpha^2 = n^2, \text{ folglich } \cos\alpha = \sqrt{\frac{n^2-1}{3}}.$$

Hiernach läßt ſich der Werth von α, und mittelſt der Gleichungen $\cos\beta = \frac{2}{n}\cos\alpha$ und $\omega = 2\beta - \alpha$ auch ω finden. Von dieſen parallel austretenden Strahlen wird ein Auge ſtärker getroffen als von den übrigen, daher man dieſelben vorzugsweiſe die wirkſamen Strahlen nennt. Enthält SA weißes Licht, ſo nehmen die den verſchiedenen farbigen Beſtandtheilen deſſelben entſprechenden wirkſamen Strahlen wegen der Verſchiedenheit des Werthes von n einen verſchiedenen Weg, und es bildet ſich demnach ein Spectrum. Hiernach kann man ſich den Farbenwechſel einer ſoliden oder einer mit Waſſer gefüllten hohlen Glaskugel erklären, wenn dieſelbe in verſchiedene Höhen geſtellt und von der Sonne beleuchtet wird, eben ſo die Farben der in der Luft ſchwebenden Waſſertropfen in der Nähe des Strahles eines Springbrunnens, wenn Sonnenlicht darauf fällt und von dieſen Tropfen in das Auge des Beobachters gelangt.

In der Nähe dieſer wirkſamen Strahlen wechſelt die Intenſität des Lichtes, indem ſie durch mehrere Maxima und Minima hindurch geht, auf ähnliche Weiſe wie in den Beugungserſcheinungen, von denen ſpäter gehandelt werden wird.

264. Aehnliche Betrachtungen ſind auf die Strahlen anwendbar, welche erſt, nachdem ſie bei C reflectirt worden, bei D (Fig. 288) aus der Kugel heraustreten. Bezeichnet man wieder die Winkel SAx, KAB, SEO mit α, β, 2ω, ſo hat man $KEA = EAx - AKE$, $AKE = 180^\circ - AKB - BKL = 180^\circ - (180^\circ - 2\beta) - (90^\circ - \beta) = 3\beta - 90^\circ$ mithin $\omega = \alpha - 3\beta + 90^\circ$. Auf dem in 263 betretenen Wege findet man $\alpha' = 3\beta'$, $3\cos\alpha = n\cos\beta$, woraus man mittelſt der Gleichung $\sin\alpha = n\sin\beta$, nach einer leichten Rechnung

$$\cos\beta = \sqrt{\frac{n^2-1}{8}} \text{ erhält.}$$

265. Nach den Geſetzen der einfachen Brechung des Lichtes laſſen ſich überhaupt alle Erſcheinungen erklären, welche ſich einſtellen, ſo oft Lichtſtrahlen aus verſchiedenartigen Subſtanzen oder ſelbſt durch Luftſchichten von ungleichförmiger Dichte in unſer Auge kommen. Dergleichen ſind: daß ein Gefäß minder tief erſcheint, wenn es Waſſer enthält, als wenn es leer iſt; daß man einen ins Waſſer getauchten

Stab verkürzt oder abgebrochen ſieht; daß ein Gegenſtand im Waſſer größer und durch ein Rautenglas angeſehen vervielfältigt erſcheint. Auch folgende, ſehr intereſſante Erſcheinungen erklären ſich aus den angeführten Brechungsgeſetzen (251) durch einfache Schlüſſe: Gießt man in ein gläſernes, ſchmales und ziemlich langes Gefäß Waſſer, und hierauf mittelſt einer bis auf den Boden des Gefäßes reichenden Röhre Schwefelſäure, die ſich ſehr langſam mit dem Waſſer miſcht und daher Schichten bildet, welche von unten nach oben allmälig an Dichte abnehmen, und ſieht hierauf durch die Flüſſigkeit nach der Länge des Gefäßes auf einen leuchtenden Gegenſtand; ſo bemerkt man ihn doppelt. Dasſelbe erfolgt auch, wenn man einen Gegenſtand ſo anſieht, daß das Licht, welches von ihm ins Auge kommt, durch Luftſchichten gehen muß, die durch ein glühendes Eiſen oder durch einen von der Sonne beſchienenen, ſchwarzen Körper verſchieden erwärmt werden. Einen gleichen Grund hat auch das ſcheinbare Zittern der Gegenſtände, welche man längs einem von der Sonne erhitzten Dache ꝛc. anſieht. Aus der totalen Reflexion des Lichtes erklärt es ſich, warum man Gegenſtände unter der Baſis eines Prisma's bei tieferer Stellung des Auges nicht ſieht; warum man, wenn dieſe Baſis durch Wolkenlicht beleuchtet wird, auf ſelber einen blauen Bogen ſieht, deſſen Concavität gegen das Auge gekehrt iſt und innerhalb deſſen der dunklere, außerhalb deſſen aber der viel hellere Theil dieſer Baſis ſich befindet u. ſ. w.

Da das Brechungsvermögen eines Stoffes von ſeiner chemiſchen Beſchaffenheit abhängt, ſo kann es als Merkmal zur Beſtimmung desſelben dienen. So ändert z. B. die geringſte Beimiſchung von Weingeiſt zu Waſſer das Brechungsvermögen der Flüſſigkeit. Steinheil hat einen Apparat conſtruirt, mittelſt deſſen nicht nur dieſe Aenderung bemerkbar gemacht wird, ſondern ſelbſt der Alkoholgehalt eines geiſtigen Getränkes ſich angeben läßt. Ueberhaupt muß das Brechungsvermögen eines Stoffes als eines ſeiner ſpecifiſchen Kennzeichen angeſehen werden. (Plateau in Pogg. Ann. 57. 267.) Es iſt große Hoffnung vorhanden, daß man das Brechungsvermögen nebſt einer oder mehrerer phyſikaliſcher Eigenſchaften, die ſich der Größe nach beſtimmen laſſen, wie z. B. die Dichte, einſt dazu wird brauchen können, um die Beſtandtheile der Stoffe quantitativ zu beſtimmen. Steinheil hat dieſen Weg bereits mit Erfolg betreten.

Viertes Kapitel.

Farbenzerſtreuung durch Brechung (Diſperſion).

266. Bisher wurde ſtillſchweigend angenommen, ein Lichtſtrahl beſtehe aus lauter gleich brechbaren Theilen. Unterſucht man aber das im Inneren eines durchſichtigen Körpers, z. B. Waſſer, Glas ꝛc. fortſchreitende gebrochene Sonnenlicht genau, ſo findet man daß es

ſich bei der Brechung in einen Bündel farbiger Strahlen theilt. Am beſten nimmt man dieſe Erſcheinung an einem Körper wahr, der das Licht bei der Brechung ſehr bedeutend von ſeiner Richtung ablenkt. Dazu eignet ſich ganz vorzüglich ein dreiſeitiges Prisma aus reinem Glaſe mit eben geſchliffenen wohl polirten Flächen. Läßt man zu dieſem Ende durch eine Oeffnung am Fenſterladen in ein dunkles Zimmer einen Sonnenſtrahl S x (Fig. 289) fallen und ſtellt dieſem ein ſolches Prisma A B C, deſſen Kante B z. B. horizontal liege und abwärts gekehrt ſey, in den Weg; ſo wird das Licht von ſeinem Wege nach oben hin abgelenkt, es geht der die Fläche A B in D treffende Lichtſtrahl nach E und er tritt bei F nach der Richtung F y durch die Fläche B C aus dem Prisma in die Luft, aber ſtatt des vorhin auf einem ſenkrecht gegen den Strahl gehaltenen Schirme wahrnehmbaren kreisrunden Sonnenbildes erſcheint jetzt ein längliches oben und unten abgerundetes, ſeitwärts von parallelen geraden Linien begrenztes Bild, Farbenbild, Spectrum, deſſen Breite dem Durchmeſſer des vom ungebrochenen Licht erzeugten Sonnenbildes gleichkommt, deſſen Länge aber von dem Winkel des Strahles mit der Fläche des Prisma's, durch welche er eintritt, von dem Winkel der Ein- und Austrittsfläche am Prisma ſelbſt, dem brechenden Winkel (der, wenn die Erſcheinung ſich recht ſchön zeigen ſoll, bei Glas nicht unter 45° betragen mag) und von der brechenden Subſtanz des Prisma's abhängt. In dieſem Bilde zeigt ſich, wenn man es ſeiner Länge nach betrachtet, in jedem Querſchnitte eine andere Farbenabſtufung, welche ſich in die daran grenzenden Farben allmälig verläuft. Der unterſte Theil des Spectrums iſt dunkelroth, von da an aufwärts findet man es heller roth und allmälig durch eine Orangefarbe ins Gelbe übergehend. Dieſes wird nach oben zu immer mehr grünlich, endlich ganz grün. Die grüne Farbe nimmt weiter oben eine Beimiſchung von Blau an und zieht ſich gänzlich ins Lichtblaue hinüber, welches immer tiefer blau werdend durch das Indigoblau ins dunkelſte Violet ſich verliert, womit das Farbenbild ſich endigt. Iſt der brechende Winkel des Prisma's aufwärts gekehrt, ſo iſt die Ordnung der Farben im Spectrum, das durch einen von unten nach oben hin zum Prisma geleiteten Sonnenſtrahl erzeugt wird, die umgekehrte. Die Intenſität des Lichtes iſt an verſchiedenen Stellen des Farbenbildes ſehr verſchieden, und im gelben Theile größer, als im grünen und rothen, und in dieſem wieder größer als im blauen und violetten. Nach obiger Beſchreibung ſind daher in dem Spectrum ſechs Hauptfarben bemerkbar, nämlich die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue und violette. Newton jedoch, dem wir die Unterſuchung dieſer Erſcheinung vorzüglich verdanken, fand ſich bewogen, um zwiſchen den Farben im Sonnenbilde und den ſieben Tönen einer Octave eine Aehnlichkeit herauszubringen, ſieben verſchiedene Farben im Spectrum anzunehmen, und zwar die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue, indigoblaue und violette.

267. Aus dieſer Erſcheinung folgt unmittelbar: 1) daß das directe Sonnenlicht aus verſchiedenfarbigen Theilen beſtehe, und daß dieſe es ſind, welche das ſo eben beſprochene Spectrum bilden, indem ſie durch Brechung von einander getrennt werden; 2) daß verſchiedenfarbige Strahlen ſcheinbar denſelben Einfallswinkel durch Brechung um ungleiche Größen von der geraden Richtung abgelenkt werden, oder mit andern Worten, daß ſie verſchiedene Brechbarkeit beſitzen; denn offenbar werden die Strahlen bei r, dem rothen Anfang des Spectrums, viel weniger gebrochen als die bei v, dem violetten Ende. Um dieſe Folgerungen ganz ſicher zu ſtellen, ließ Newton das Farbenbild, welches durch ein horizontal gehaltenes Prisma gebildet wurde, neuerdings auf ein vertical ſtehendes fallen. Waren die aufgeſtellten Sätze richtig, ſo mußte das neue Sonnenbild dasſelbe Farbenſpiel zeigen wie das erſte, und wenn dieſes vertical ſtand, wie r v in Fig. 290 und in r das rothe und in v das violette Ende hatte, ſo mußte jenes ſchief ſtehen wie r′ v′, und in r′ roth, in v′ violett erſcheinen. Die Erfahrung entſprach dieſer Vorausſetzung auf das Genaueſte, und beſtätigte daher die Wahrheit obiger Sätze unwiderſprechlich. Läßt man das Farbenbild auf eine Tafel A (Fig. 291) auffallen, die eine kleine Oeffnung hat, ſo wird der auf die Oeffnung fallende Theil des Farbenbildes durchgehen. Fängt man einen ſolchen Strahl mit einem zweiten Prisma B auf, ſo wird er wohl gebrochen und zwar deſto mehr, je weiter er im Farbenbilde vom rothen Strahle abſteht und ſich dem violetten nähert, er erſcheint aber mit derſelben Farbe, wie vor der zweiten Brechung. Man kann dieſes als einen ferneren Beweis für die vorhin angeführte Folgerung anſehen, und zugleich daraus die neue Wahrheit ableiten, daß ein Lichtſtrahl des Spectrums, welcher die Eigenſchaft hat, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, dieſe Eigenſchaft durch Brechung nicht verliere.

Im Lichte, das gefärbte Körper reflectiren, zeigt ſich derſelbe Zuſammenhang zwiſchen Erregung einer beſtimmten Farbenempfindung und dem Grade der Brechbarkeit, wie beim directen Sonnenlichte. Man überzeugt ſich davon ſehr leicht. wenn man auf eine weiße Tafel zwiſchen zwei parallelen Linien neben einander zwei Rechtecke malt, wovon z. B. eines roth, das andere grün iſt. Sieht man ſie mit einem dreiſeitigen Prisma an, deſſen brechender Winkel aufwärts gekehrt iſt, ſo erſcheint das grüne höher als das rothe, zum Beweiſe, daß die von jenem ausfahrenden Strahlen mehr als die von dieſem kommenden gebrochen werden.

268. Obwohl das Phänomen des Spectrums die zuſammengeſetzte Natur des Sonnenlichtes hinreichend beweiſet, ſo wird man doch noch mehr befriediget, wenn man durch Vereinigung der farbigen Strahlen, welche das Spectrum darbietet, farbloſes Licht entſtehen ſieht. Dieß bewirkt man auf verſchiedene Weiſe, und zwar entweder dadurch, daß man, wie Newton gethan, die durch das Prisma getrennten Strahlen durch eine Sammellinſe wieder in einen Punct vereiniget, der da weiß erſcheint, oder daß man das Prisma durch irgend

ein Mittel, etwa durch ein Uhrwerk, in eine raſche oscillirende Bewegung verſetzt und dadurch das Spectrum auf dem Schirme ſchnell hin- und hergehen macht, wie dieſes Minchow veranſtaltet hat; da zeigt ſich ein weißer Lichtſtreif, der nur oben und unten etwas farbig erſcheint. Es empfängt nämlich das Auge von jedem Puncte des Schirmes ſchnell hinter einander Eindrücke von allen Farben des Spectrums und da ein Eindruck den andern überdauert, ſo empfindet es dasſelbe, als wenn unzerlegtes Sonnenlicht auf den Schirm fiele. Endlich kann man, wie Müller zuerſt empfohlen hat, das auf einer weißen Wand aufgefangene Spectrum durch ein zweites, gehörig geſtelltes Prisma betrachten. Iſt A (Fig. 292) das Prisma, welches den einfallenden Strahl a b in das Farbenbild r v zerlegt, ſo werden von dieſem Bilde, wenn es von einer zerſtreuenden Wand aufgefangen wird, die Strahlen auf das Prisma B, welches ſo geſtellt iſt, daß es an derſelben Stelle vom Strahle o c ein Spectrum erzeugen würde, in einer Richtung auffallen, daß ſie wieder in den Strahl c o vereiniget werden. Ein wie B aufgeſtelltes Prisma bewirkt nun in der That, daß das in o befindliche Auge ein rundes, weißes Bild in der Richtung a b x erblickt.

Theilt man das Spectrum in zwei beliebige Partien und vereiniget die Farben jeder Partie durch eines der eben benannten Mittel; ſo erhält man aus jeder eine Miſchungsfarbe und die Farben beider Partien müſſen weiß geben. Man nennt ſie complementäre Farben, weil ſie ſich gegenſeitig zu weiß ergänzen.

269. Die Anzahl der verſchieden brechbaren Strahlen, aus denen der unzerlegte Sonnenſtrahl beſteht, iſt nicht angebbar; man kann ſie als unendlich groß betrachten. Enthielte das Sonnenlicht nur eine geringe Anzahl ſolcher Strahlen, ſo könnte das Farbenbild nicht mit parallelen Seitenwänden erſcheinen, es würden ſich die runden Bilder, die jeder einfache Strahl gibt, wohl zum Theile decken, müßten aber immer ein Farbenbild geben, an deſſen Seiten man die kreisförmig gebogenen Einſchnitte bemerken könnte, wie in Fig. 293. Diejenigen, welche behaupten, ein unzerlegter Sonnenſtrahl beſtehe aus ſieben Strahlen von verſchiedener Brechbarkeit, können darunter nur ſolche verſtehen, die in uns die Empfindung weſentlich verſchiedener Farben erregen. Allein ſelbſt jene Strahlen, die im Allgemeinen nur eine Farbenempfindung erzeugen, beſtehen aus verſchieden brechbaren Theilen, weil immer ein Theil der Eintrittsfläche des Lichtes am Prisma von größerer Breite von dem zu zerlegenden Lichte getroffen wird, mithin jeder der Kante des brechenden Winkels parallele unendlich ſchmale Streifen der Eintrittsfläche ſein eigenes Spectrum liefert, und alle dieſe Spectra ſich theilweiſe decken.

270. Um ſich den Anblick eines Farbenbildes zu verſchaffen, bei welchem dieſe Mengung ungleichartigen Lichtes nicht Statt hat, laſſe man das durch eine enge Spalte geleitete Licht auf ein gutes Prisma, deſſen brechende Kante der Spalte parallel iſt, in ſolcher Entfernung fallen, daß man die Spalte als eine leuchtende Linie betrachten darf, die ſehr wenig divergirende Strahlen auf das Prisma ſendet. Nach

der Brechung durch das Prisma haben Strahlen von gleicher Brechbarkeit ſolche Richtungen, als würden ſie von einer und derſelben leuchtenden Linie direct ausgeſendet; Strahlen von verſchiedener Art aber ſcheinen von verſchiedenen einander parallelen Linien auszugehen. Nimmt man nun dieſe Strahlen mit dem Auge auf und gibt man dem Prisma durch Drehung um ſeine Axe eine ſolche Stellung, daß die Linien, von welchen die Strahlen herzukommen ſcheinen, in die Sehweite des Auges fallen, ſo muß man offenbar eben ſo viele Bilder der Spalte ſehen, als Lichtſorten von verſchiedener Brechbarkeit vorhanden ſind. Gibt es deren im Sonnenlichte eine unendliche Anzahl von allen innerhalb gewiſſer Grenzen liegenden Graden der Brechbarkeit, ſo wird man auch eine ſtetige Folge von Lichtlinien (Spaltenbildern) wahrnehmen, welche zuſammen ein Farbenbild darſtellen, worin aber jeder mit der Richtung der Spalte parallelen Linie gleichartiges Licht entſpricht. Enthält dagegen das Sonnenlicht innerhalb der Grenzen ſeines Farbenbildes nicht Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit, ſondern fehlen Strahlen von gewiſſen Farbenabſtufungen im Farbenbilde, ſo muß ſich an jeder Stelle, welche fehlenden Strahlen correſpondirt, eine Lücke zeigen, die, je nachdem nur einzelne getrennte Strahlengattungen oder ganze Reihen von unmittelbar an einander grenzenden Strahlen mangeln, als eine dunkle Linie oder als ein dunkler Streifen von meßbarer Breite wahrgenommen wird. Dieß iſt, wie Fraunhofer auf dem ſo eben angedeuteten Wege entdeckt hat, bei dem Sonnenlichte wirklich der Fall. Man erblickt in dem Spectrum, zumal wenn man dem Auge durch ein gutes Fernrohr zu Hülfe kommt, unzählige ſtarke und ſchwache Linien, die dunkler ſind, als der übrige Theil des Farbenbildes; einige davon ſind ſogar völlig ſchwarz. Dieſe Linien ſind immer und zwar in derſelben Ordnung vorhanden, aus was immer für einer Materie das Prisma beſteht und was es für einen brechenden Winkel hat, nur nimmt ihre Stärke und ihre erkennbare Menge im Verhältniſſe mit der durch den brechenden Winkel des Prisma's und die Vergrößerung, welche das Fernrohr geſtattet, bedingten Größe des Farbenbildes ab und zu. Mit bloßem Auge ſind nur die vorzüglichſten derſelben deutlich zu erkennen.

Um den Fraunhofer'ſchen Verſuch zu machen, ſtellt man in einem verfinſterten Zimmer ein Prisma mit vollkommen ebenen Wänden vertical vor das Objectivglas (d. i. vor jenes, welches man gegen das Object kehrt) eines guten Fernrohres und läßt durch eine ſchmale aber hohe Oeffnung Sonnenlicht auf daſſelbe fallen, bei einer ſolchen Anordnung des Fernrohres, daß man ohne Prisma die Oeffnung deutlich ſieht, und einer ſolchen Stellung des Prisma's, daß die Strahlen es unter demſelben Winkel verlaſſen, unter dem ſie auffallen. Dieſe Stellung findet man leicht dadurch, daß ſie zugleich diejenige iſt, in der die größte Ablenkung des Lichtes durch das Prisma Statt hat. Bei der Betrachtung des Farbenbildes mit bloßem Auge muß aber das Prisma eine andere Stellung, nämlich diejenige erhalten, in welcher das Bild in die Sehweite des Auges fällt, die man durch Drehen des Prismas leicht ausmittelt.

Um ſich in dem Farbenbilde des Sonnenlichtes, vorzüglich für Zwecke der practiſchen Optik, mit Leichtigkeit orientiren zu können, hat Fraunhofer die an den merkwürdigſten Stellen befindlichen Linien vom rothen gegen das violette Ende hin mit den Buchſtaben A, B, C ꝛc. bis I bezeichnet. A (Fig. 294) iſt eine ſcharfe begrenzte Linie nahe am Anfange des Spectrums im dunklen Roth. B und C ſind ſcharfe ſchwarze Linien von merklicher Dicke im lichtern Roth. Zwiſchen A und B befindet ſich ein Bündel a feiner Linien, die gleichſam einen Streifen bilden. D iſt eine Doppellinie an der Uebergangsſtelle von Orange in Gelb, E iſt eine Gruppe feiner Linien im Grün, F eine ſtarke Linie im Blau. Zwiſchen E und F, nahe bei E, erblickt man drei ſehr ſtarke Linien b, die zu den ausgezeichnetſten im Farbenbilde gehören. G iſt eine Gruppe feiner Linien im tief Indigblau. Bei H im Violet ſteht ein merkwürdiger, aus vielen feinen Linien nnd einer ſtarken Mittellinie gebildeter Streifen, und nahe dabei ein zweiter ähnlicher. Fraunhofer zählte von B bis H ungefähr 574 Linien. Brewſter dagegen hat das Sonnenſpectrum in mehr als 2000 deutlich wahrnehmbare Theile getheilt, worin ſich dunkle Linien befinden. (Pogg. Ann. 38. 58.)

271. Es iſt klar, daß man durch die Mittel, durch welche das Sonnenlicht zerlegt wird, auch das Licht anderer leuchtenden Körper analyſiren kann. Faſt alle geben ein Spectrum mit mehreren Farben, doch gibt es einige, die unmittelbar homogenes Licht ausſenden.

Das Licht einer Flamme von ſehr ſtark verdünntem Weingeiſte iſt nach Brewſter ganz homogen gelb, und in allen Farbenbildern, die unvollkommen verbrennende Körper liefern, hat das gelbe Licht die Oberhand. Phosphor gibt mit Salpeter verbrannt ein Farbenbild, worin keine Farbe vorherrſcht und keine durch dunkle Linien unterbrochen iſt. Dieſem ähnlich ſind die Farbenbilder, welche glühender Kalk, Platin, mehrere andere feſte Körper geben. Schwefel gibt beim lebhaften Verbrennen faſt lauter homogenes gelbes Licht; ſobald aber die Heſtigkeit des Verbrennens nachläßt, erſcheinen im Farbenbilde blaue und grüne Streifen. Wird Schwefel mit Salpeter gemiſcht und angezündet, ſo gibt er ein Farbenbild, mit einer merkwürdigen rothen Linie, die außer der rothen Grenze des Spectrums liegt und davon durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt iſt. Ihr Licht iſt weniger brechbar, als der am wenigſten brechbare Theil des Sonnenlichtes. Sie ſcheint vom Kali herzurühren und allen Kaliſalzen zuzukommen, gleichwie die Natronſalze einen gelben Streifen, gleich dem Lichte im Spectrum des Schwefels erzeugen. Brennendes Cyan gibt ein aus mehreren, beinahe gleich breiten, intenſiven, durch dunkle Linien von einander getrennten Streifen beſtehendes Spectrum; ſalpeterſaurer Strontian zeigt ein Spectrum mit mehreren Unterbrechungen der Continuität und einer hellglänzenden, dunkelblauen, iſolirten Linie. Im Farbenbilde vom gewöhnlichen Flammenlichte, das durch eine enge Spalte ging, zeigte ſich zwiſchen Roth und Gelb ein lichter Streifen, der augenſcheinlich von einem Ueberſchuſſe homogenen gelben Lichtes herrührt, das von der Flamme ausgeſendet wird, wodurch ein hervorſtechendes gelbes Spaltenbild entſteht; ein ähnlicher nur minder ſcharf begrenzter Streifen wird im Grün wahrgenommen. Verſchiedene Himmelskörper geben auch verſchiedene Farbenbilder. Im Lichte des Sirius zeigen ſich drei breite Streifen, wovon einer im Grün, zwei im Blau ſind; Caſtor gibt ein Farbenbild wie Sirius,

Pollux gibt viele ſchwache, fixe Linien, noch mehrere Beteigenze, Procyon aber ſehr wenig. Das Licht des Mars und der Venus hat viele Aehnlichkeit mit dem Sonnenlichte. Der elektriſche Funke zeigt ein Farbenbild aus vielen hellen Linien, und *Wheatſtone* überzeugte ſich, daß dieſe Linien verſchieden ſind, je nach der Natur des Metalles, aus welchem der Funke gezogen wurde; das Medium hat keinen Einfluß darauf, und das elektriſche Licht iſt von jenem des verbrennenden Metalles weſentlich verſchieden. (Pogg. Ann 36 148.)

272. Der Umſtand, daß die Brechbarkeit des Lichtes mit ſeiner Eigenſchaft, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, ſo innig zuſammenhängt, macht, daß bei jeder Brechung auch eine Farbenzerſtreuung eintritt. Wo die Ablenkung des gebrochenen Strahles nicht groß iſt, hat dieſe Zerſtreuung auf unſere Empfindung freilich keinen merklichen Einfluß, wo aber ein Lichtſtrahl von ſeiner Bahn bedeutend abgelenkt wird, da iſt dieſer Einfluß *auf die Deutlichkeit und Färbung des Bildes* des Gegenſtandes, von dem das Licht kommt, ſehr groß. Es ſey S (Fig. 295) ein leuchtender Punct, der weißes Licht auf die Sammellinſe AB ſendet. Dieſes Licht wird bei der Brechung zerſtreut, die brechbarſten Strahlen vereinigen ſich in v, die von mittlerer Brechbarkeit in f, die am wenigſten brechbaren in r, ſo daß alle zuſammen, abgeſehen von der Abweichung wegen der Geſtalt des Glaſes, ſich nicht mehr in einem Puncte vereinigen, ſondern bei ihrer größten Vereinigung innerhalb eines Kreiſes vom Durchmeſſer CD liegen, den man *Abweichungskreis* nennt. Stellt man ein dünnes Plättchen mit einer feinen, runden Oeffnung nahe an den Brennpunct einer Sammellinſe, die in einem verfinſterten Zimmer einen eindringenden Lichtkegel auffängt; ſo werden einige der farbigen Strahlen aufgehalten, während die anderen durch die Oeffnung gehen und auf einer Tafel aufgefangen, ein ſchönes Farbenſpiel gewähren. Noch herrlicher wird dieſe Erſcheinung, wenn man ſtatt der runden Oeffnung eine ringförmige nimmt, wie Fig. 296 zeigt. Es gibt daher an Linſen außer der ſphäriſchen Abweichung auch noch eine wegen der verſchiedenen Brechbarkeit des farbigen Lichtes, die man *chromatiſche* Abweichung nennt. Sie iſt in der Regel bei den gewöhnlichen Linſen viel größer als jene, und würde den Bildern alle Deutlichkeit benehmen, wenn nicht der Umſtand Statt fände, daß ſich das von einem Puncte S kommende Licht nicht innerhalb des ganzen Abweichungskreiſes gleichmäßig vertheilt, ſondern im Mittelpuncte f am ſtärkſten iſt und gegen den Umfang hin beſtändig abnimmt, ſo daß es am Umfange ſelbſt unendlichmal ſchwächer als im Mittelpuncte iſt. Nämlich alle Strahlen von mittlerer Brechbarkeit gehen durch den Mittelpunct dieſes Kreiſes, alle äußerſten ſind auf der ganzen Kreisfläche verbreitet, und die übrigen Strahlen nehmen auf ihr einen größeren oder kleineren Raum ein, je nachdem ihre Brechbarkeit mehr oder weniger von der mittleren abweicht.

Man mißt die Größe der von einer der zwei Abweichungen herrühren-

den Undeutlichkeit durch den Halbmeſſer des Kreiſes, in welchem ſich die Strahlen vereinigen, welche ohne Abweichung in einen Punct vereinigt würden. Er heißt darum auch der Halbmeſſer der Undeutlichkeit.

Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit verſteht man nicht die in der Mitte des Farbenbildes liegenden, ſondern die den rothen etwas näheren gelben, weil das Farbenbild auf der Seite der violetten Strahlen ſchwächer iſt, als auf der Seite der rothen, und weil man bei der Beſtimmung der Farbenzerſtreuung mit einem Prisma, das einen kleinen brechenden Winkel hat, ſtets ein Verhältniß findet, das mit dem der gelben Strahlen übereinſtimmt.

273. Stellt man einen leuchtenden Körper in gehöriger Entfernung vor eine Sammellinſe, ſo werden alle von jedem einzelnen Puncte ausgehenden Strahlen auf die vorhin genannte Weiſe geſammelt, die Kreiſe der an einander grenzenden Puncte decken ſich zum Theile (Fig. 293), und verurſachen dadurch eine Undeutlichkeit des Bildes, die deſto größer iſt, je mehr die farbigen Strahlen zerſtreut werden, und je gleichförmiger das Licht im Abweichungskreiſe jedes Punctes vertheilt iſt.

274. Außer dieſer Undeutlichkeit der Bilder verurſacht die verſchiedene Brechbarkeit des Lichtes auch noch gewiſſe Farbenerſcheinungen. Iſt z. B. AB (Fig. 297) ein Gegenſtand, der weißes Licht auf die Sammellinſe CD ſendet und ſich außer ihrer Brennweite befindet, ſo entſteht hinter ihr nicht ein einziges Bild, wie bisher immer angenommen wurde, ſondern unzählige in verſchiedener Entfernung von der Linſe und daher auch von verſchiedener Größe, worunter ſechs verſchiedenfarbige unterſchieden werden können. Das von der Linſe entfernteſte mithin größte darunter iſt das rothe rr′, das kleinſte das violette vv′; die übrigen liegen zwiſchen beiden. Werden dieſe Bilder auf einer weißen Tafel aufgefangen oder mit freiem Auge betrachtet, ſo decken ſich dieſelben in der Mitte und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der weißen Farbe hervor. Nicht ſo am Rande; da ragt der rothe und gelbe Theil über die übrigen hervor, und das ganze Bild erſcheint daher mit einem rothgelben Saume. Wäre der Gegenſtand nach innen begrenzt wie ein Ring, ſo würde ſein Bild eine bläulich violette Einfaſſung haben, weil von dieſer Seite das violette und blaue Bild vorſteht. Erſchiene dem Auge O das Bild eines Gegenſtandes AB (Fig. 298) vor der Linſe CD, ſo müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte Statt finden. Hier iſt das rothe Bild rr′ der Linſe am nächſten, das violette vv′ davon am meiſten entfernt, und daher jenes unter allen das kleinſte, dieſes das größte, weßwegen letzteres über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.

275. Der nachtheilige Einfluß dieſer verſchiedenen Brechbarkeit des Lichtes mußte wohl ſchon früh denkende Naturforſcher aufmuntern, Mittel ausfindig zu machen, um ihm abzuhelfen. Newton hielt ein ſolches Mittel, durch eine unrichtige Beobachtung und einen

falſchen Schluß verleitet, für unmöglich, Euler vermuthete die Möglichkeit deſſelben aus der Betrachtung des Baues des Auges, wo dieſe Abweichung nicht Statt zu finden ſchien; aber erſt Dollond (im Jahre 1757) war er vorbehalten, durch Klingenſtierna's Unterſuchungen veranlaßt, auf die rechte Spur zu kommen, und Linſen mit farbenloſen Bildern, achromatiſche Linſen, zu verfertigen. Um einen richtigen Begriff vom Weſen des Achromatismus zu bekommen, muß man Folgendes überlegen: Die Urſache, warum ein von der Sonne direct kommender Strahl nicht farbig erſcheint, liegt darin, daß die verſchieden brechbaren Beſtandtheilt deſſelben mit einander parallel fortgehen und auch zuſammen ins Auge kommen; durch ein dreiſeitiges Prisma wird der weiße Strahl in farbige Theile zerlegt, weil durch die Brechung dieſer Parallelismus der farbigen Theile aufgehoben wird. Man wird daher, um z. B. ein achromatiſches Prisma zu Stande zu bringen, dahin arbeiten müſſen, dieſen Parallelismus wieder herzuſtellen, ohne die Ablenkung des Strahles überhaupt aufzuheben. Wenn daher an ein Prisma A (Fig. 299), welches den einfallenden weißen Strahl Sa in farbige Theile zerlegt, wovon die äußerſten ab und ac ſind, ein zweites B, welches aus einem gleich ſtark brechenden, aber mehr zerſtreuenden Stoffe beſteht, ſo gelegt wird, daß die brechenden Winkel eine entgegengeſetzte Lage haben; ſo wird vom Prisma der violette Strahl ac in einem größeren Verhältniſſe abgelenkt, als der rothe ab, und da die Ablenkung deſſelben Strahles in beiden Prismen nach entgegengeſetzten Richtungen erfolgt, ſo wird es bei einem gewiſſen Verhältniſſe der brechenden Winkel zum Zerſtreuungsvermögen der Prismen dahin kommen, daß beide Strahlen cd und be nach dem Austritte aus den Prismen mit einander parallel werden. Dieſes wird aber natürlich nur bei einem beſtimmten Einfallswinkel des Lichtes Statt finden, und es wird daher das Prisma nur bei dieſem achromatiſch ſeyn; aber auch hier wird der Achromatismus nicht ganz vollſtändig ſeyn können, weil nur die äußerſten, nicht aber alle Strahlen mit einander parallel werden. Dollond conſtruirte zuerſt ein achromatiſches Prisma aus Crown- und Flintglas, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieſes einen Winkel von 19° hatte.

276. Nach denſelben Grundſätzen werden achromatiſche Linſen verfertiget. Es ſey A (Fig. 300) eine Convexlinſe aus Crownglas, welche die weißen auffallenden Strahlen ſo convergirend macht, daß ſich die rothen in r, die gelben in g und die violetten in v vereinigen. Nach Hinzugabe eines Concavglaſes B wird die Convergenz der gebrochenen Strahlen kleiner, und wenn deſſen Brennweite größer iſt, als die von A, ſo vereiniget die Doppellinſe die gelben Strahlen in einer größeren Entfernung, z. B. in g′. Iſt B von Flintglas, ſo bringt es wegen der größeren Farbenzerſtreuung die Vereinigungspuncte der rothen und violetten Strahlen näher an g′, als es der Fall bei Crownglas geweſen wäre, und bei einem gewiſſen Verhältniſſe zwiſchen den Brennweiten der Linſen und ihrer Farbenzerſtreuung fallen

alle dieſe Puncte zuſammen. Dieſes ſetzt aber auch voraus, daß die Farbenzerſtreuung beim Flintglaſe für alle farbige Strahlen gegen die beim Crownglaſe in demſelben Verhältniſſe ſtehe; eine Bedingung, die in der Wirklichkeit nicht eintrifft. Daher begnügt man ſich gewöhnlich bei achromatiſchen Linſen, die Vereinigungspuncte der äußerſten Strahlen und derjenigen zuſammenzubringen, die vermöge ihrer Brechbarkeit und Lebhaftigkeit gleichſam als die mittleren anzuſehen ſind, allein man bewirkt dadurch keinen vollkommenen Achromatismus, und muß daher oft zur beſſeren Erzielung des beabſichtigten Zweckes eine dreifache Linſe conſtruiren, welche aus zwei convexen Crownglas- und einer concaven Flintglaslinſe beſteht, die zuſammen ein achromatiſches Syſtem bilden. Allein auch damit reicht man nicht aus, wenn es ſich um ein Bild von beträchtlicher Ausdehnung handelt, das nicht bloß von der chromatiſchen, ſondern auch von der ſphäriſchen Abweichung möglichſt frei ſeyn ſoll. Man nimmt dann eine Zuſammenſtellung mehrerer Linſen zu Hilfe. Eine Combination von Linſen, bei welcher nebſt der chromatiſchen auch noch die ſphäriſche Abweichung gehoben iſt, heißt aplanatiſch. Fallen auf eine achromatiſche Linſe parallele Strahlen auf, ſo wird der convexe Beſtandtheil gegen das Object gewendet; treffen es hingegen ſtark divergirende Strahlen, ſo kehrt man den concaven Theil gegen das Object.

Gewöhnlich ſtellt man die Flintglaslinſe hart an die Crownglaslinſe, womit erſtere eine achromatiſche Verbindung geben ſoll, oder kittet gar beide zuſammen; da müſſen natürlich die Linſen gleiche Oeffnungen bekommen. Erſt in der neueſten Zeit hat man beide Linſen bis auf $^1/_3$—$^1/_2$ der Brennweite des Crownglaſes aus einander gerückt, und dadurch den Vortheil erlangt, den ganzen, auch von einer großen Crownglaslinſe kommenden Lichtkegel mit einem viel kleineren Flintglaſe auffangen und achromatiſiren zu können. Die Conſtruction ſolcher Linſen, die man dialytiſche nennt, hat zuerſt Barlow angedeutet, Rogers hat den gemachten Vorſchlag abgeändert, Littrow und Stampfer haben die mathematiſche Theorie geliefert, und Plößl hat ſie zuerſt ausgeführt. (Barlow in Phil. Transact. 1829, Rogers in Zeitſchr. 5 120, Jahrb. des polyt. Inſtit. 14. 108, Littrow in Zeitſchr. 4. 255, Jacquin ebend. u. F. 3. 57. Stampfer in Jahrb. des polyt. Inſtit. Bd. 14, 108.) Statt Flintglas hat man mehrere Flüſſigkeiten in Vorſchlag gebracht, weil es ſchwer hält, große und doch homogene Flintglasſtücke zu erhalten. Schwefelkohlenſtoff ſcheint ſich am beſten hierzu zu eignen, wiewohl Flüſſigkeiten überhaupt gegen ſich haben, daß ſie ſo leicht verdünſten und ſich ungleich erwärmt in Schichten von verſchiedener Dichte abſondern.

277. Zur Conſtruction achromatiſcher Zuſammenſetzungen von Prismen oder Linſen iſt die Kenntniß des Brechungsexponenten jedes einzelnen farbigen Strahles, in welche das weiße Licht durch Brechung zerlegt wird, nebſt den Geſetzen, nach welchen ſich die Farbenzerſtreuung richtet, unerläßlich, und man hat ſich darum von jeher bemüht, dieſe Größen ſo ſcharf als möglich zu beſtimmen. Lange war aber der Umſtand, daß die verſchiedenen Farben im Spectrum gleich-

ſam in einander zerfließen und demnach ihre Grenzen nicht genau beſtimmbar ſind, ein unüberſteigliches Hinderniß einer ſolchen genauen Beſtimmung. Seitdem aber Fraunhofer die dunklen Linien in den Farben des homogenen Spectrums entdeckt hat, hält man ſich an dieſe und beſtimmt die den ſtärkſten Linien dieſer Art entſprechenden Brechungsexponenten. Dadurch wird auch in der That den Anforderungen der practiſchen Optik völlig genügt, um ſo mehr als dieſe Beſtimmung mit großer Schärfe geſchehen kann.

Gegenwärtig kennt man nicht bloß die nummeriſchen Werthe der Brechungsexponenten für die Stellen der auffallendſten dunklen Linien im Spectrum des Sonnenlichtes bezüglich mehrerer brechender Medien, beſonders mehrerer Glasſorten, ſondern auch einige das Verhältniß zwiſchen Brechung und Farbenzerſtreuung betreffende Geſetze. Folgendes ſind die durch Erfahrung beſtimmten wichtigſten Wahrheiten, zu deren Verſtändniß man wiſſen muß, daß wenn n', n, n'' die Brechungsexponenten für die am wenigſten brechbaren (rothen) für die mitleren (gelben) und für die am meiſten brechbaren (violetten) Strahlen bezeichnen, $n'' - n'$ die Größe der Farbenzerſtreuung und $\frac{n'' - n'}{n - 1}$ das Farben-Zerſtreuungsvermögen der betreffenden Mittel bezeichnet. Wenn in demſelben Mittel die Größe der Brechung etwa durch Aenderung der Dichte dieſes Mittels vergrößert oder verkleinert wird; ſo wird auch in demſelben Verhältniſſe die Größe der Farbenzerſtreuung größer oder kleiner, oder es ändert ſich die Größe n'' in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich n' ändert. Dieſes gilt aber nicht mehr, wenn ſich die Natur des Mittels ändert. Iſt in einem Mittel n größer als in einem anderen, ſo iſt zwar auch n'' und $n'' - n'$ in jenem größer als in dieſem; aber es wachſen die Größen n'' und n' nicht mehr in demſelben Verhältniſſe, d. h. es ändert ſich die Farbenzerſtreuung nicht in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich die Brechung ändert. Es kann daher nicht von einer auf die andere geſchloſſen, ſondern jede muß durch eigene Verſuche ausgemittelt werden. Das Zerſtreuungsverhältniß zweier Mittel iſt nicht für alle farbigen Strahlen dasſelbe, und man kann daher nicht, wenn dieſes Verhältniß für irgend einen farbigen Strahl gegeben iſt, davon auf das für einen anderen Strahl ſchließen, ſondern man muß jedes eigens beſtimmen.

Das Farbenzerſtreuungsvermögen des Glaſes wird durch einen Zuſatz von Blei bedeutend erhöht; dieß iſt der Fall bei dem Flintglaſe. Solches Glas, wie es Fraunhofer verfertigte, hat eine Farbenzerſtreuung, welche im Durchſchnitte ſich zu der des Crown- oder Spiegelglaſes wie 2 : 1 verhält. Bei engliſchem Flintglaſe iſt dieſes Verhältniß 1,5 : 1; bei Waſſer und Crownglas wie 1 : 1,56. Verſchiedene Flintglasgattungen haben auch ein verſchiedenes Zerſtreuungsvermögen, und zwar in der Regel ein deſto größeres, je dichter ſie ſind; Schwefel, Phosphor und die Metallſalze haben ein ſehr großes Brechungs- und Zerſtreuungsvermögen; Edelſteine brechen das Licht ſtärker als Flintglas, zerſtreuen es aber ſelbſt weniger als Waſſer; Harze, Gummi, Oehle und Balſame zerſtreuen und brechen das Licht beinahe

in einerlei Verhältniß ſtärker als Waſſer Die Oehle verdanken ihr großes Zerſtreuungsvermögen wahrſcheinlich dem Waſſerſtoffe, wenigſtens überzeugte ſich Herſchel, daß das Zerſtreuungsvermögen des Caſſiaöhles faſt um die Hälfte dadurch vermindert wurde, daß man ihm mittelſt Chlor Waſſerſtoff entzog. Salzſäure, Salpeterſäure und ſalpetrige Säure zerſtreuen das Licht mehr, Schwefelſäure, Phosphorſäure, Citronen- und Weinſteinſäure weniger als Waſſer. Ein ungemein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzen der Flußſpath, der Chryſolith und der Topas. (Gilb. Ann. 50. 129.)

Für den Brechungsindex bei dem Uebergange aus der Luft in nachbenannte Medien für die den Linien, B, C, D, E, F, G, H, im Sonnenſpectrum entſprechenden Strahlen hat Fraunhofer (Gilb. Ann. 52. 292) folgende Werthe gefunden, die wir hier mit den gleichnamigen Buchſtaben bezeichnen:

Flintglas, Dichte 3.723: B=1 627749; C=1 629681; D=1,635036; E=1,642024; F=1,648260; G=1,660285; H=1,671062.

Flintglas, Dichte 3,512: B=1,602042; C=1.603800; D=1,608494; E=1,614532; F=1,620042; G=1,630772; H=1,640373.

Crownglas, Dichte 2,535: B=1,525832; C=1.526849; D=1,529587; E=1,533005; F=1.536052; G=1,541657; H=1,546566.

Crownglas, Dichte 2,756: B=1,554774; C=1,555933; D=1,559075; E=1,563150; F=1 566741; G=1 573535; H=1,579470.

Waſſer, Dichte 1,000: B=1.330977; C=1 331709; D=1,333577; E=1,335849; F=1,337788; G=1 341261; H=1,344162.

Terpentinöhl, Dichte 0 885: B=1,470496; C=1,471530; D=1,474434; E=1,478353; F=1,481736; G=1,488198; H=1,493874.

Folgendes ſind die Werthe des Zerſtreuungsvermögens einiger Körper:

	$\frac{n''-n'}{n-1}$		$\frac{n''-n'}{n-1}$
Diamant	0.038	Schwefelkohlenſtoff .	0.048
Saphir	0.026	Terpentinöhl . . .	0.042
Topas, gelber . . .	0 025	Alkohol	0.029
Beryll	0.037	Waſſer	0.035
Zucker	0.036	Schwefelſäure . . .	0.031
Phosphor	0.128	Salpeterſäure . . .	0.045
Schwefel	0 130	Salzſäure	0 043

Fünftes Kapitel.

Theoretiſche Anſicht über die Natur des Lichtes.

278. Schon die älteſten Naturforſcher haben ſich bemüht, die Natur des Lichtes zu ergründen, und zu dieſem Ende ſind mehrere Hypotheſen aufgeſtellt worden. Unter dieſen hat eine durch ihre Naturgemäßheit und durch die Einfachheit und Leichtigkeit, mit welcher ſie

alle bekannten optiſchen Erſcheinungen erklärt, ein ſolches Uebergewicht über alle andern erlangt, daß letztere gegenwärtig nur einen hiſtoriſchen Werth beſitzen. Die ſucceſſive Fortpflanzung des Lichtes beweiſet, daß demſelben ein materielles Princip zum Grunde liege; ſeine große Geſchwindigkeit läßt vermuthen, daß es nicht in einem von den leuchtenden Körpern aus ſich fortbewegenden Stoffe beſtehe, ſondern vielmehr auf der durch Vermittlung eines elaſtiſchen Mediums bewirkten Fortpflanzung eines Bewegungszuſtandes der leuchtenden Körper beruhe. Dieſe Anſicht hat man ſchon längſt gehabt; Huyghen's ſprach dieſelbe zuerſt in einer genügenden Form aus und Euler hat dieſe Meinung in ſeinen berühmten Abhandlungen verfochten; allein einerſeits waren damals die Thatſachen, auf welche ſich die ſchlagendſten Beweiſe für die Nothwendigkeit dieſer Erklärungsweiſe der Erſcheinungen des Lichtes ſtützen, nicht bekannt oder doch nicht auf die gehörige Weiſe unterſucht, andererſeits aber war die Theorie der ſchwingenden Bewegung noch zu wenig ausgebildet, als daß ſie eine haltbare Baſis für die Erklärung abgeben konnten. Erſt in unſeren Tagen haben die Bemühungen eines Young, Fresnel, Fraunhofer, Herſchel, Cauchy, Neumann, Airy, Hamilton, Loyd u. a. dieſe Lücken ausgefüllt, und es iſt dadurch eine phyſikaliſche Theorie des Lichtes, die ſogenannte Undulationstheorie, zu Stande gekommen, welche jetzt den anderen Partien der Naturlehre als Muſter der Evidenz dienen kann. Dieſer erfreuliche Zuſtand der Wiſſenſchaft geſtattet nun, die genannte Theorie auf die ſchon betrachteten Geſetze anzuwenden und ſie unſeren ferneren Betrachtungen anzuſchließen, ſomit aus ihr die ſämmtlichen bis jetzt bekannten Erſcheinungen des Lichtes in Zuſammenhange abzuleiten.

279. Die Undulationstheorie poſtulirt die Exiſtenz eines eigenen, den Weltraum und das Innere der Körper erfüllenden Stoffes, welcher durch das Wort Aether bezeichnet wird und die materielle Grundlage der Erſcheinungen des Lichtes ausmacht. Die Theilchen deſſelben wirken auf einander abſtoßend, vielleicht zugleich auch anziehend, und werden durch ähnliche Kräfte auch von den Theilchen der Körper afficirt, welche Kräfte ſämmtlich von der Art der Molecularkräfte ſind, unter deren Einfluß die Aethertheilchen, wenn keine Lichterſcheinung vor ſich geht, in dem Zuſtande des ſtabilen Gleichgewichtes ſtehen. Die ſelbſtleuchtenden Körper befinden ſich, ähnlich den ſchallenden, in ſchwingender Bewegung, durch welche das Gleichgewicht des angrenzenden Aethers geſtört und dieſer in fortſchreitende Schwingungen verſetzt wird, die, wenn ſie bis zu unſerem Auge vordringen, dem in dieſem Organ enthaltenen Aether mitgetheilt werden. Die Einwirkung der Bewegung des Aethers im Auge auf den Sehnerv hat die Empfindung des Sehens zur Folge. Hiernach beruht die Fortpflanzung des Lichtes auf der fortſchreitenden Wellenbewegung des Aethers; die Geſetze derſelben ſind in jenen enthalten, welche den Principien der Mechanik gemäß aus den erwähnten Vorausſetzungen über die Kräfte, unter deren Herrſchaft die Aethertheilchen ſtehen, ſich

ergeben, und die Qualitäten eines Lichtſtrahles müſſen ſich aus den räumlichen und quantitativen Beſtimmungen der Elemente dieſer Bewegung ableiten laſſen.

Der Einwurf, den man früher der Zuläßigkeit der Undulationshypotheſe entgegenſetzte, daß ihr gemäß kein Schatten möglich wäre, da, ſo wie man einen ſchallenden Körper hinter einer Wand hört, man auch einen leuchtenden Körper ſehen müßte, wenn ſich zwiſchen ihm und dem Auge undurchſichtige Körper befinden, beruht auf einem Mißverſtändniſſe, und wird durch die Art, auf welche die Undulationstheorie ;den Hergang der ſogenannten Beugung des Lichtes erklärt, von welcher das folgende Kapitel handelt, vollſtändig gehoben Ein anderer Einwurf, der den Widerſtand hervorhebt, welchen die Himmelskörper in dem Aether erfahren müßten, wenn dieſer wirklich exiſtirte, während ihre Bewegung ſo regelmäßig vor ſich geht, wie es nur in einem leeren Raume geſchehen kann, dürfte in den Augen desjenigen von keinem bedeutenden Gewichte ſeyn, der weiß, mit welcher Leichtigkeit ſich ein Körper in einem Fluidum zu bewegen vermag, das ungemein fein iſt und durch die kleinſten Zwiſchenräume ungehindert geht. Aber auch dieſes geringe Gewicht hat er verloren, ſeitdem man an dem von Encke berechneten Kometen wirklich eine Erſcheinung bemerkt hat, die auf ein widerſtehendes Mittel zu ſchließen erlaubt. Daß dieſes die Bewegung der Planeten nicht merklich verzögert, kommt auf Rechnung der viel größeren Dichte derſelben.

Seit Newton, bis zur neueſten Zeit, herrſchte unter den Phyſikern die Anſicht, das Licht ſey eine eigene, aus äußerſt feinen Theilchen beſtehende Materie, die von den leuchtenden Körpern ausſtrömt, von den beleuchteten reflectirt wird und in das Auge gelangend die Empfindung des Sehens hervorbringt. Man bezeichnet dieſe Anſicht mit der Benennung Emanationsſyſtem. Die Unhaltbarkeit derſelben wird bei der näheren Entwicklung der Geſetze, an welche das Licht gebunden iſt, ſchlagend hervortreten,

280. In der Undulationstheorie der Lichtphänomene finden die im 7ten Kapitel III. Abſch. I. Th. dieſes Buches vorgetragenen Lehren über die fortſchreitenden Schwingungen elaſtiſcher Medien ihre vollſte Anwendung. Der freie, d. h. nicht im Inneren eines wägbaren Körpers enthaltene Aether wird als ein nach allen Richtungen gleich elaſtiſches Medium betrachtet, der in den Zwiſchenräumen der Körper befindliche Aether aber nimmt an der Anordnung der Molekel ſelbſt Antheil in Folge der Einwirkungen, die er von dieſen erfährt. Iſt die Subſtanz eines Körpers unkryſtalliniſch oder nach dem teſſularen Syſteme kryſtalliſirt, ſo beſitzt der Aether ebenfalls nach allen Richtungen einerlei Elaſticität; in den übrigen kryſtalliſirten Stoffen aber ändert ſich die Elaſticität bei dem Uebergange von einer Richtung zur andern. Die Theilchen des Aethers in einem Körper ſind in allen dieſen Fällen entweder ſo geordnet, daß eine partielle Erſchütterung des Aethers fortgepflanzt werden kann, oder ſie haben keine ſolche Anordnung. Je nachdem das erſtere oder das letztere Statt findet, iſt der Körper durchſichtig oder undurchſichtig. In einem nach allen Richtuntungen gleich elaſtiſchen Medium hat eine örtliche Störung des Gleichgewichtes, falls überhaupt eine Wellenbewegung daſelbſt möglich iſt,

die Bildung zweier Wellen zur Folge, einer, worin die Theilchen transverſal, einer anderen, worin ſie longitudinal ſchwingen. In der Lichtlehre kommt jedoch bloß eine dieſer Wellen in Betrachtung, und zwar, wie in der Folge bewieſen wird, die mit transverſalen Schwingungen verſehene; ſey es, daß longitudinale Vibrationen im Aether wegen des großen Widerſtandes, den er ieder Aenderung ſeiner Dichte entgegenſetzt, ganz unmöglich ſind, oder daß ſie auf unſer Auge nicht den Eindruck des Lichtes machen. Die transverſalen Schwingungen erfolgen entweder nach conſtantem oder veränderlichem Richtungsgeſetze; das Licht, welches auf Schwingungen der letztern Art beruht, heißt gemeines, dasjenige hingegen, welches aus erſteren reſultirt, wird polariſirtes Licht genannt. Je nachdem die Bahnen der Aetherthеilchen geradlinig, kreisförmig oder elliptiſch ſind, heißt auch das Licht geradlinig, circulär oder elliptiſch polariſirt. In kryſtalliniſchen Medien ſtellen ſich zwei mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortſchreitende Wellen transverſaler und zwar polariſirter Schwingungen ein; Schwingungen mit veränderlichem Richtungsgeſetze können nur in dem nach allen Richtungen gleich elaſtiſchen Aether fortgepflanzt werden. Wie ſich dieſe Unterſchiede in der Wahrnehmung durch das Auge charakteriſiren, kann erſt in der Folge erklärt werden. Ein anderer Unterſchied des Lichtes liegt darin, daß es entweder einfaches oder zuſammengeſetztes iſt. Man ſetzt in der Undulationstheorie voraus, und die Uebereinſtimmung der Erfahrung mit der Theorie rechtfertiget dieſe Vorausſetzung, daß das einfache Licht auf einfachen Schwingungen beruhe, deren Componenten den in I. 402 aufgeſtellten Geſetzen gehorchen. Die Farbe des Lichtes hängt von der Schwingungsdauer ab; die Intenſität des Lichtes wird offenbar durch die Schwingungsweite oder durch die dieſer proportionirte Schwingungsintenſität beſtimmt. Um den Erſcheinungen zu genügen, muß man die Intenſität des Lichtes dem Quadrate der Schwingungsweite oder der Schwingungsintenſität proportional annehmen. Ein Lichtſtrahl iſt die Richtung, in welcher ſich die ſchwingende Bewegung eines Aethertheilchens fortpflanzt.

Aus dem Vorhergehenden erſieht man die Analogie, welche zwiſchen dem Lichte und dem Schalle Statt findet. Beide beruhen auf Schwingungen, das Licht auf Schwingungen des Aethers, der Schall auf Schwingungen wägbarer Stoffe, erſtere geben Lichtwellen, letztere Schallwellen, aus erſtern reſultiren Lichtſtrahlen, aus letztern Schallſtrahlen, beide können einfach oder zuſammengeſetzt ſeyn; zuſammengeſetzte Schallwellen geben bei der Zerlegung verſchieden hohe Klänge, zuſammengeſetzte Lichtwellen verſchiedene Farben. So wie verſchieden hohen Tönen Vibrationen von verſchiedener Schwingungsdauer und Schallwellen von verſchiedener Länge entſprechen, eben ſo gehören zu verſchiedenen Farben Aetherſchwingungen von verſchiedener Schwingungsdauer und Lichtwellen von verſchiedener Länge. Die kürzeſten Schallwellen gehören zum höchſten, die längſten zum tiefſten Ton; die kurzeſten Lichtwellen entſprechen der rothen, die längſten der violetten Farbe.

281. Um den Sinn der Vibrationshypotheſe richtig aufzufaſſen, ſey Sx (Fig. 301) ein Lichtſtrahl, d. h. die Richtung, in welcher ſich die Bewegung eines Aethertheilchens fortpflanzt. Die Aethertheilchen in denen dieſes geſchieht, oscilliren in Bahnen. welche auf Sx ſenkrecht ſtehen wie z. B. a in der Bahn bc, a′ in der Bahn b′c′, a″ in der Bahn b″c″ ꝛc. und in Folge deſſen befinden ſie ſich in einem beſtimmten Momente der Bewegung in der ſchlangenförmigen Linie, welche die Zeichnung darſtellt. Es iſt aus dem Früheren klar, daß aa″ die Länge einer ganzen, aa′ die einer halben Welle vorſtellt und daß ſich die den Puncten a und a″ entſprechenden Aethertheilchen zugleich in übereinſtimmenden, die den Puncten a und a′ entſprechenden in entgegengeſetzten Bewegungszuſtänden befinden. Wird ein Aethertheilchen beſtimmt, mehrere Bewegungen zugleich anzunehmen, ſo geht daraus eine zuſammengeſetzte Bewegung hervor, die den in I. 403 entwickelten Geſetzen folgt. In dieſer Zuſammenſetzung der Bewegung beſteht das, was man Interferenz nennt. Ein Aethertheilchen, welches als Mittelpunct einer Erſchütterung auftritt, theilt ſeine Bewegung ringsum allen angrenzenden Aethertheilchen mit und jedes derſelben pflanzt ſeine Bewegung weiter fort. Beſitzt der Aether ringsum dieſelbe Elaſticität, ſo pflanzt ſich jede dieſer Bewegungen gleich ſchnell fort, und die zugleich in demſelben Bewegungszuſtande befindlichen Aethertheilchen liegen in der Oberfläche einer Kugel, deren Mittelpunct zugleich das Centrum der Erſchütternng iſt: es bilden ſich demnach kugelförmige (ſphäriſche) Wellen. Haben aber die Aethertheile rings um den urſprünglich erſchütterten Punct nicht einerlei Elaſticität, ſondern nach einer Richtung eine größere, nach der anderen eine kleinere; ſo erfolgt auch die Fortpflanzung der Bewegung nicht nach allen Richtungen mit derſelben Geſchwindigkeit und die zugleich in einerlei Bewegungszuſtand befindlichen Aethertheile liegen nicht in der Oberfläche einer Kugel, ſondern in einer andern krummen Fläche, und die Wellen ſind nicht ſphäriſch ſondern haben eine andere Form. Die Fortpflanzung jeder Welle, ſie mag wie immer geſtaltet ſeyn, erfolgt dadurch, daß jeder Punct derſelben als Mittelpunct neuer Schwingungen auftritt und die daraus hervorgehende erweiterte Welle iſt das Reſultat der Interferenz aller von den Puncten der vorhergehenden Welle herrührenden Elementarwellen. (Vergleiche hiemit das in I. 405 und 407 Geſagte.) Demnach iſt erſichtlich, daß das Princip der Interferenz in der Vibrationshypotheſe eine große Rolle ſpiele und daß es nöthig ſey, ſich dieſes Princip ſelbſt vor allem Andern mit den nächſten daraus zu ziehenden Folgerungen recht klar zu machen.

282. Es ſeyen Sx und Sy (Fig. 302) zwei von derſelben Lichtquelle ausgehende, einfache Lichtſtrahlen, die ſich in a unter einem ſo kleinen Winkel ſchneiden, daß man ſie nahe für parallel anſehen kann. Iſt der Weg, welchen der Strahl Sx von der Lichtquelle aus zurückgelegt hat, genau eben ſo groß, wie jener, auf dem der Strahl Sy nach a gelangt iſt, oder iſt der Weg des erſteren Strahles genau um ein, zwei, drei ꝛc. kurz um eine ganze Anzahl Wellenlängen größer als

jener des zweiten; ſo entſpricht dem Strahl S x die ſcharf ausgezogene, dem Strahl S y die punctirte Wellenlinie und die Aetherbewegungen beider erfolgen längs des ganzen Weges der Strahlen in demſelben Sinne. Es werden ſich alſo in a beide Bewegungen verſtärken und ſonach eine vermehrte Lichtintenſität daſelbſt hervorbringen. Haben die Strahlen S x und S y von der Lichtquelle an bis a Wege zurückgelegt, deren Unterſchied genau einer halben oder irgend einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge (z. B. $^3/_2$, $^5/_2$, $^7/_2$ ꝛc.) gleich iſt; ſo gehen die ihnen entſprechenden Aetherbewegungen längs des ganzen Weges im entgegengeſetzten Sinne vor ſich, wie dieſes Fig. 303 verſinnlichet, wo wieder die ſcharf ausgezogene Wellenlinie zum Strahl S x, die punctirte zum Strahl S y gehört. In dieſem Falle wirken in a die beiden Bewegungen ſich entgegen und es reſultirt daraus eine Verminderung der Lichtintenſität, ja wenn beiden Strahlen eine gleiche Lichtſtärke entſpricht, ſogar ein völliges Aufheben derſelben. Iſt endlich der Gangunterſchied der zwei Lichtſtrahlen zwiſchen den beiden ſo eben betrachteten äußerſten Grenzen eingeſchloſſen, ſo erfolgt auch aus der Interferenz derſelben in a ein Reſultat, das zwiſchen den vorhin betrachteten enthalten iſt, nämlich es werden die betreffenden Strahlen, ſelbſt wenn ſie gleich intenſiv ſind, ſich weder ganz aufheben, noch ſich verdoppeln, ſondern ſich dem einen oder dem andern Reſultate deſto mehr nähern, je nachdem ihr Gangunterſchied einem ungeraden oder geraden Vielfachen einer halben Wellenlänge näher kommt.

Dieſen aus der bloßen Betrachtung der vibrirenden Bewegung gezogenen Schlüſſen entſpricht nun die Erfahrung auf das Genaueſte. Um einen Verſuch der Art zu machen, kann man in ein verfinſtertes Zimmer durch zwei kleine, völlig gleiche Oeffnungen am Fenſterladen Licht eintreten laſſen und die Stellen beobachten, wo die von den Oeffnungen divergirenden Strahlen ſich kreuzen. Reiner erhält man die Interferenz-Phänomene, wenn man ſich zwei gleich leuchtende Puncte, von deren jedem Strahlen ausgehen, dadurch verſchafft, daß man von einem leuchtenden Punct auf zwei unter einem ſehr ſtumpfen Winkel gegen einander geneigte Planſpiegel Strahlen fallen läßt und auf die Stellen, wo ſich die reflectirten Strahlen kreuzen, ſeine Aufmerkſamkeit richtet. Zu dieſem Ende bringt man das mit einem Vergrößerungsglaſe bewaffnete Auge in einiger Entfernung vor die Durchſchnittslinie der Spiegelflächen und ſieht gegen die Mitte der Verbindungslinie der zwei Bilder des leuchtenden Punctes in den Spiegeln hin. Man erblickt da im weißen Lichte eine Reihe heller Streifen, die mit der Durchſchnittslinie der Spiegelflächen parallel laufen, und zwiſchen welchen in nahe gleichen Abſtänden von einander ſich Linien befinden, wovon die mittleren ſcharf begrenzt und dunkel, die entfernteren aber minder ſcharf begrenzt und farbig erſcheinen und immer heller werdend ſich allmälig in dem lichten Grunde des Phänomens verlieren. Im homogenen Lichte iſt die Anzahl der dunklen Linien weit beträchtlicher als im weißen und die der Mitte nahe ſtehen-

den ſind intenſiv ſchwarz; ändert man die Farbe des Lichtes, vom rothen gegen das violette fortſchreitend, ſo rücken die dunklen Linien immer näher an einander; ihre Abſtände ſind bei rothem Lichte faſt noch einmal ſo groß, als bei violettem. Hiernach erklärt ſich die Beſchaffenheit der Erſcheinung im weißen Lichte von ſelbſt: dieſe iſt nämlich das Reſultat der Uebereinanderlagerung der Erſcheinungen, welche die einzelnen farbigen Lichtſorten, die im weißen Lichte enthalten ſind, für ſich hervorbringen würden; in der Mitte kommt Licht von allen Farben zuſammen und erzeugt den weißen Streifen, den man da ſieht; zu beiden Seiten deſſelben fallen auch die benachbarten dunklen Linien der intenſivſten Farben nahe an einander; in einiger Entfernung dagegen mengen ſich die hellen und dunklen Theile der verſchiedenen Farben dergeſtalt, daß die Undeutlichkeit immer größer wird und man keine Abſtufungen der Lichtſtärke und keine Färbung mehr gewahr wird. Unter übrigens gleichen Umſtänden nimmt dte Breite der Streifen zu, wenn der Winkel der Spiegel ſtumpfer wird, eben ſo, wenn der Beobachter ſich von den Spiegeln entfernt.

Die zu dieſem Verſuche dienenden Spiegel ſollen, wenn auch nicht aus Metall, doch wenigſtens aus ſchwarzem Glaſe verfertiget ſeyn; indeſſen kann man ſich auch mit geſchwärzten Glasplatten behelfen, wenn nur die ſpiegelnden Flächen gehörig eben ſind. Um den Verſuch mit Bequemlichkeit und Sicherheit des Erfolges anſtellen zu können, müſſen ſich die Spiegel in einer Faſſung befinden, die den Neigungswinkel derſelben ein wenig zu ändern geſtattet. Da die Kanten, mittelſt welcher die Spiegel an einander grenzen, ſtets gut an einander paſſen müſſen, ſo iſt nebſt einer Vorrichtung zur Regulirung der Kanten auch noch erforderlich, daß die Drehungsaxe des Spiegels, der zum Behufe der Aenderung des Winkels bewegt wird, genau mit ſeiner Kante zuſammenfalle, damit dieſe Kante während der Drehung des Spiegels nicht vor oder hinter die Kante des andern trete. Bringt man die beiden Spiegelflächen zuerſt genau in eine Ebene, was man erreicht hat, wenn ſie wie ein einziger Spiegel wirken, mithin keine Spur einer Verdoppelung der Bilder zu bemerken iſt; ſo darf man nur den einen Spiegel äußerſt wenig gegen den andern neigen, um eine brauchbare Stellung der Spiegel zu erhalten. Ueberdieß iſt es räthlich, den Einfluß jeder Veränderung, die man an der Stellung der Spiegel vornimmt, auf das Phänomen ſogleich mittelſt des Vergrößerungsglaſes zu prüfen, wodurch man die Handgriffe, die zur Erzielung der höchſten Reinheit nöthig ſind, am beſten kennen lernt. Als leuchtender Punct kann, zumal wenn die Beobachtung, wie es bei Meſſungen nöthig iſt, längere Zeit dauern ſoll, das Sonnenbild im Brennpuncte einer mikroſkopiſchen Linſe dienen, der man mittelſt eines Spiegels Licht zuſendet. Der Umſtand, daß die Interferenzlinien der Durchſchnittslinie der Spiegelflächen parallel ſind. geſtattet, ſtatt eines leuchtenden Punctes, eine dieſer Durchſchnittslinie parallele leuchtende Linie anzuwenden. Die von jedem Puncte erzeugten Linien fallen in einander und verſtärken ſich wechſelſeitig. Hiedurch erhält man nicht nur mittelſt Kerzen- oder Lampenlichtes eine ſehr deutliche Darſtellung des Interferenzphänomens, ſondern man iſt auch im Stande, bei Anwendung des Sonnenlichtes, daſſelbe auf eine weiße Tafel mit der größten Schärfe zu projiciren. Jedenfalls iſt es vortheilhaft, das Licht ſehr ſchief auf die Spiegel fallen zu laſſen. Will

man dieſes Phänomen in homogenem Lichte betrachten, ſo zerlege man das mittelſt eines Helioſtates durch eine Spalte am Fenſterladen geleitete Licht mit Hülfe eines Prisma's, und fange das Farbenbild mit einem Schirme auf, an welchem ſich eine ſchmale Spalte befindet, die nur Strahlen von einer beſtimmten Farbe auf die Spiegel gelangen läßt. Um jedoch das Beugungsphänomen, welches letztere Spalte erzeugt, wegzuſchaffen, iſt es gut, vor dieſelbe ein cylindriſches Sammelglas zu ſetzen.

283. Auch die Durchkreuzung directer Lichtſtrahlen mit reflectirten bringt Interferenz hervor. Iſt nämlich S ein leuchtender Punct oder eine leuchtende Linie, wovon ein Strahl SH (Fig. 304) ſehr ſchief auf den geſchwärzten Spiegel MN fällt und nach HI reflectirt wird; ſo durchkreuzt derſelbe jeden vor dem Spiegel vorbeigehenden Strahl SI, und modificirt deſſen Intenſität. Das Interferenz-Phänomen läßt ſich gut mittelſt eines ſtark vergrößernden Glaſes beobachten, das man dem Spiegel gehörig nahe bringt. (Lloyd in Pogg. 45. 95.)

284. Endlich iſt man auch im Stande, die Interferenz des Lichtes mit Hilfe der Brechung darzuſtellen. Man bedient ſich dazu eines dreiſeitigen Prisma's mit einem ſehr ſtumpfen Winkel, worauf man von einem Puncte oder von einer der Kante dieſes Winkels parallelen Linie Licht fallen läßt. Es zeigen ſich da, wenn man durch das Prisma gegen die Lichtquelle hinſieht, zwei leuchtende Puncte oder Linien, und wenn man die Vereinigungsſtelle der dieſen entſprechenden Strahlen mittelſt eines Vergrößerungsglaſes unterſucht, erblickt man ein Syſtem von Interferenzlinien. Iſt nämlich LMN (Fig. 305) der Durchſchnitt des Prisma's, deſſen Flächenwinkel bei L und M einander gleich und ſehr ſpitzig ſind, S der leuchtende Punct, welcher ſo ſtehe, daß die Gerade SN, die von ihm zur ſtumpfen Kante N geht, die LM ſenkrecht durchſchneidet; ſo werden zwei Strahlen wie SA, SB bei ihrem Austritte an den Flächen LN, MN dergeſtalt gebrochen, daß ſie ſich in I durchkreuzen. Befindet ſich dieſer Punct innerhalb der Brennweite eines Sammelglaſes, zu welchem die genannten Strahlen nach ihrer Durchkreuzung gelangen, ſo werden ſie nach der Brechung von einem entfernteren, in der von der Mitte der Linſe durch I geführten Geraden liegenden Puncte herzukommen ſcheinen, und hat die Linſe eine ſolche Stellung gegen das hinter ihr befindliche Auge, daß letzterer Punct in der Sehweite deſſelben liegt, ſo wird das Auge den Erfolg der in I vor ſich gehenden Interferenz der Strahlen AI, BI wahrnehmen. Iſt die Entfernung des leuchtenden Punctes S vom Prisma nicht zu gering, ſo ſcheinen alle durch die Flächen LN, MN austretenden Strahlen nahe von zwei Puncten S′, S″ herzukommen, die ſich alſo wie Bilder von S verhalten. Um die vortheilhafteſte Stellung des Auges gegen die Linſe zu erkennen, ſeyen S′, S″ (Fig. 306) die letztgenannten Puncte und HK die Linſe. Betrachtet man S′S″ wie einen leuchtenden Gegenſtand, ſo wird von dieſem ein Bild s′s″ hinter der Linſe entſtehen, welches man ohne merklichen Fehler findet, wenn man von S′ und S″ durch die Mitte

der Linſe die Hauptſtrahlen $S'E$, $S''E$ zieht, und auf deren Verlängerungen Es' und Es'' der Brennweite der Linſe gleich annimmt. Jeder von S' kommende Strahl $S'F$ geht demnach durch s', und jeder von S'' kommende $S''G$ geht durch s''. Nimmt demnach die Pupille des Auges den Ort $s's''$ ein, ſo iſt es an der vortheilhafteſten Stelle, denn es empfängt die möglich größte Menge der ſich interferirenden Strahlen. Liegt der Durchſchnittspunct I' der Richtungen $s'F$, $s''G$ in der Sehweite, ſo ſind es gerade die Strahlen $S'F$, $S''G$, deren in I vor ſich gehende Interferenz die Erſcheinung bedingt, die das Auge in I' ſieht. Die mit der Brechung des Lichtes im Prisma verknüpfte Farbenzerſtreuung bringt eine Färbung der Interferenzſtreifen hervor, welche man bei Anwendung der Spiegel vermeidet. Deßhalb, und weil man durch Aenderung des Winkels der Spiegelflächen eine Mannigfaltigkeit der Erſcheinung hervorrufen kann, die das Prisma nicht geſtattet, hat der Spiegelapparat vor dieſem einen Vorzug.

Läßt man einen der beiden interferirenden Lichtbündel durch ein ſehr dünnes Plättchen aus einer durchſichtigen Subſtanz gehen, z. B. durch ein Glimmerplättchen; ſo findet, wie Arago zuerſt beobachtet hat, eine Verſchiebung des Interferenzſpectrums nach der Seite des betreffenden Strahles hin Statt. Hier wirkt nämlich die Verzögerung, welche das Licht beim Durchgange durch den Glimmer erleidet, eben ſo wie ein Unterſchied im zurückgelegten Wege. Man ſieht dieſes Phänomen am beſten bei Anwendung einer Doppelſpalte, die man vor das Objectiv eines Fernrohres ſetzt. Da rücken, wenn eine der Spalten durch das Glimmerblatt gedeckt wird, die Interferenzlinien in das ſeitwärts liegende Beugungsſpectrum, von dem in Folgendem die Rede ſeyn wird, hinein. Aus dieſer Verſchiebung läßt ſich die Verzögerung des Lichtes in dem Plättchen berechnen, und wenn die Dicke des Plättchens bekannt iſt, auch der Brechungsexponent deſſelben beſtimmen. Dieſe Methode eignet ſich vornehmlich zur Vergleichung des Brechungsvermögens der Gaſe.

285. Es geht aus der Natur der vibrirenden Bewegung hervor (I. 412) daß in der Regel ein Strahl an der Grenze zweier heterogener Mittel, d. h. ſolcher, welche dieſe Bewegung mit ungleicher Geſchwindigkeit fortpflanzen, in zwei Theile geſpalten wird, wovon einer ins neue Mittel eintritt, der andere aber ins alte Mittel zurückkehrt oder *reflectirt* wird. Um nun zu zeigen, was bezüglich der Richtung des reflectirten Strahles aus der Natur der vibrirenden Bewegung folgt, ſey A (Fig. 307) ein leuchtender Punct, von welchem Lichtſtrahlen AB, AB' u. ſ. w. auf die Trennungsfläche MN zweier Mittel fallen. So wie ſie in MN anlangen, tritt jeder Punct von MN ſelbſt als Mittelpunct einer eigenen Welle auf. Sind a, b, c, d ꝛc. in dieſer Fläche liegende Aethertheilchen, ſo werden dieſelben von jeder Vibration des Punctes A im Allgemeinen in verſchiedenen Zeiten $\tau, \tau', \tau'', \tau''', \ldots$ erreicht. Iſt die reflectirte Welle für das Ende der Zeit t anzugeben, wobei t größer gedacht wird, als $\tau, \tau', \tau'', \ldots$

ſo conſtruire man um a herum die Wellenfläche mit den Dimenſionen, die ihr nach Verlauf der Zeit t — τ von ihrem Urſprunge an gerechnet zukommen; eben ſo beſchreibe man für b c, d, ... die Wellenflächen hinſichtlich der Fortpflanzungszeiten t — τ', t — τ'', t — τ'''... u. ſ. w. Denkt man ſich jetzt die Puncte a, b, c, d, ... einander unendlich nahe, ſo bilden die zwiſchen den Durchſchnitten der dicht an einander gereihten Wellenflächen liegenden Stücke wie m n, n p ꝛc. eine Fläche P Q, von der die erſteren Flächen ſämmtlich berührt werden, und dieſe iſt, wie ſchon in I. 412 gezeigt worden, keine andere, als die allem reflectirten Lichte entſprechende Wellenfläche ſelbſt. Hiebei ſind die Geraden a m, b n, c p, ... die durch Reflexion der Lichtſtrahlen A a, A b, A c, ... entſtandenen. Die Poſition des Punctes m auf P Q wird, unter der Vorausſetzung, daß a b unendlich klein iſt, durch die Bedingung beſtimmt, daß A a + a m und A b + b m von jeder Undulation des Punctes A in einerlei Zeit zurückgelegt werden. Hiezu können wir noch die Bemerkung fügen, daß die von a, b, c, d, ... ausgehenden Vibrationen einander in m, n, p, ... wegen der Gleichheit der Phaſen, mit denen ſie daſelbſt ankommen, unterſtützen (obgleich in einerlei Augenblick a, b, c, d, ... verſchiedene Phaſen zeigen), dagegen die von eben dieſen Mittelpuncten ſeitwärts geſendeten Vibrationen einander durch Interferenz aufheben. Denn wenn wir auch ohne nähere Beſtimmung der Beſchaffenheit des einfallenden Strahles, ſeiner Lage und der Natur der an einander grenzenden Mittel über die Art der von der Trennungsfläche in beide ausgehenden Schwingungen nichts auszuſagen vermögen; ſo iſt es doch gewiß, daß, wenn zwiſchen zwei unmittelbar von A ausgegangenen und in M N eintreffenden Erſchütterungen ein Phaſenunterſchied beſteht, die Schwingungen, welche von den erſchütterten Puncten in M N ausgehen und irgendwo zuſammentreffen, dieſelbe Phaſendifferenz zeigen. Uebrigens liegt es außerhalb der Grenzen dieſes Lehrvortrages, das Problem der Reflexion und Brechung des Lichtes nach ſeinem ganzen Umfange abzuhandeln; für den Augenblick beſchränken wir uns auf den Fall, wenn das Medium, worin die Reflexion des Lichtes vor ſich geht, das Licht nach allen Richtungen mit gleicher Geſchwindigkeit fortpflanzt und die reflectirende Fläche eine Ebene iſt. Es erzeugt nun nach I. 412 eine Welle durch Reflexion an einer Ebene eine zweite ſphäriſche Welle, deren Mittelpunct A' ſo liegt, daß die von ihm zum Mittelpuncte A der directen Welle gehende gerade Linie auf der reflectirenden Ebene ſenkrecht ſteht und durch ſelbe halbirt wird. Wie man ſieht, ſtimmt dieſe Folgerung mit derjenigen, zu welcher die in I. 412 angeſtellte Betrachtung führte, ganz überein.

Die Emanationshypotheſe, welche die Erſcheinungen des Lichtes auf die Bewegung äußerſt feiner materiellen Partikel zurückzuführen ſtrebt, gibt die Erklärung der Reflexion folgendermaßen: Von den reflectirenden Körpern geht eine Kraft aus, welche auf die Lichttheilchen abſtoßend wirkt. Jedoch kann dieſe nicht erſt beginnen, wenn das Licht die reflectirende Ebene berührt, weil ſonſt die Erhöhungen und Ver-

tiefungen, die ſich auch an den möglichſt polirten Oberflächen befinden, und gegen die Feinheit des Lichtes unendlich groß ſind, zur Folge haben müßten, daß eine Reflexion nach allen Seiten erfolgen müßte, und nicht in der Ordnung, wie das Licht auffällt, welches doch bei den Spiegeln der Fall iſt. Die Wirkungsſphäre dieſer Kraft muß aber doch ſehr klein ſeyn, weil der Erfahrung gemäß ein Strahl von den Theilen, die in einer merklichen Entfernung vom Einfallspuncte liegen, gar keine Einwirkung erfährt. Denkt man ſich nun die Geſchwindigkeit eines ſchief auf eine reflectirende Fläche einfallenden Strahles in eine auf dieſe Fläche ſenkrechte (normale) und in eine mit dieſer parallele aufgelöſet, ſo wird nur erſtere durch die abſtoßende Kraft des Mittels verringert, letztere aber gar nicht afficirt. Deßhalb beſchreibt der Strahl von dem Augenblicke an, wo er in die Wirkungsſphäre des Mittels eintritt, eine krumme, gegen das Mittel convexe Bahn. Sobald die ganze normale Geſchwindigkeit aufgehoben iſt, bewirkt die abſtoßende Kraft eine der normalen Geſchwindigkeit des Lichtes entgegengeſetzte, und dieſe mit der übrig gebliebenen parallelen Geſchwindigkeit zuſammengeſetzt, gibt eine der vorher genannten gleiche krumme Bahn für das Licht, und am Puncte, wo daſſelbe die Wirkungsſphäre des Mittels verläßt, fährt es nach der Tangente dieſer Curve fort und bildet ſo den reflectirten Strahl.

286. Der ins neue Mittel eintretende Strahl ſetzt in demſelben ſeinen Weg fort, falls dieſes das Mittel geſtattet, erleidet aber, wenn er ſchief einfällt, eine Brechung. Um auch dieſe aus der undulirenden Bewegung des Aethers zu erklären, haben wir die ſo eben bei der Erklärung der Reflexion ins Werk geſetzten Principien auf den vorliegenden Fall zu übertragen. Es ſeyen wie dort Aa, Ab, Ac, . . . (Fig. 308) u. ſ. w. die auf die ebene Trennungsfläche MN beider Medien einfallenden Strahlen, mithin a, b, c, ... Mittelpuncte von Wellen, einerſeits in Bezug auf das frühere Medium des Lichtes, andererſeits in Bezug auf das neue. Erſtere geben, wie ſo eben gezeigt worden, das reflectirte Licht; letztere ziehen wir gegenwärtig in Erwägung. Die Verſchiedenheit beider Mittel liegt in der verſchiedenen Geſchwindigkeit, mit welcher ſie einfaches Licht von gegebener Farbe fortpflanzen. Angenommen, daß ſich die Geſchwindigkeit des Lichtes in dem Mittel, das den einfallenden Strahl enthält, zu der Geſchwindigkeit des Lichtes in dem brechenden Mittel verhalte, wie n:1; ſo werden die Halbmeſſer X, Y, Z, ... mit welchen innerhalb des brechenden Mittels, aus den Mittelpuncten a, b, c, . . . die Kugelflächen zu beſchreiben ſind, deren gemeinſchaftliche Berührungsfläche die Wellenfläche des gebrochenen Lichtes gibt, durch die Gleichungen

$$\frac{Aa}{n} + X = \frac{Ab}{n} + Y = \frac{Ac}{n} + Z \text{ ꝛc.}$$

dargeboten; denn die Zeiten, binnen welchen das Licht ſeine Wege in den verſchiedenen Mitteln zurücklegt, werden durch die Quotienten dieſer Wege mit den entſprechenden Geſchwindigkeiten gemeſſen. Es iſt klar, daß die Kugelflächen, deren Mittelpuncte dem Puncte a unend-

lich nahe liegen, einander in einem Puncte der Ebene begegnen, die durch A a ſenkrecht gegen MN gelegt iſt, und dieſer Punct iſt zugleich der Berührungspunct der Wellenfläche und der aus a beſchriebenen Kugelfläche. Es ſey x dieſer Berührungspunct und b in der Einfallsebene des Strahles A a unendlich nahe an a; ſo beſteht die Gleichung $\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Ab}{n} + bx$, aus der $Ab - Aa = n(ax - bx)$ folgt. Man mache $Au = Aa$ und $xv = xb$, und ziehe au, bv, ſo iſt dieſer Gleichung gemäß

$$bu = n . av, \text{ daher } bu : av = n : 1.$$

Man darf hier, wegen der Kleinheit der Winkel aAb, axb, die Winkel u, v als rechte betrachten, und erhält dadurch mittelſt der Dreiecke aub, avb:

$$ab : bu = 1 : \sin bau, \quad ab : av = 1 : \sin abv,$$

mithin $bu : av = \sin bau : \sin abv$

daher auch $\sin bau : \sin abv = n : 1.$

Errichtet man PQ in a auf MN ſenkrecht, ſo iſt der Winkel bau gleich dem Einfallswinkel AaP und abv gleich dem Brechungswinkel xaQ, folglich

$$\sin AaP : \sin xaQ = n : 1,$$

welches das Geſetz der gewöhnlichen Brechung des Lichtes iſt.

Die Brechung erfolgt zum Einfallslothe, wenn $n > 1$, und vom Einfallslothe, wenn $n < 1$ iſt. Im erſten Falle pflanzt alſo das brechende Mittel die undulirende Bewegung langſamer, im zweiten ſchneller fort, als das urſprüngliche Mittel des Lichtſtrahles.

287. Die Geſtalt der durch einen leuchtenden Punct erzeugten Wellenfläche nach der Brechung an der ebenen Grenzfläche zweier einfach brechenden Mittel weicht von der Kugelform ab und kann auf dem im Vorhergehenden angedeuteten Wege mittelſt geeigneter analytiſcher Methoden berechnet werden. Iſt jedoch der leuchtende Punct von der brechenden Ebene ſo weit entfernt, daß alle von ihm auf dieſelbe fallenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen, d. h. handelt es ſich lediglich um die Brechung einer ebenen Welle; ſo iſt leicht einzuſehen, daß die gebrochene Welle gleichfalls eine ebene Geſtalt haben werde, und es kann die Lage derſelben nach den angeführten Principien ausgemittelt werden. Es ſey AZ (Fig. 309) der Durchſchnitt einer ebenen Welle mit einer Ebene, die auf ihr und auf der brechenden Ebene ſenkrecht ſteht, ſo beruht die Fortpflanzung der Welle AZ auf dem Fortſchreiten der in allen Puncten derſelben, wie A, A′, A″ ... gleichzeitig, und daher auch mit übereinſtimmenden Phaſen Statt findenden Vibrationen. Man hat hier bloß auf die Richtungen zu ſehen, nach denen die einander unterſtützenden Schwingungen weiter gehen, und kann daher annehmen, daß längs der auf AZ ſenkrechten Geraden AB, A′B′, A″B″ u. ſ. w. Schwingungen fortgehen, die in B, B′, B″ ... auf der Trennungsfläche der Mittel Erſchütterungen erregen, in Folge deren dieſe Puncte in das brechende

Mittel kugelförmige Wellen ſenden. Es ſeyen X, X', X'', ... die Halbmeſſer der letzteren in einem beſtimmten Augenblicke, ſo beſtehen die Gleichungen

$$\frac{AB}{n} + X = \frac{A'B'}{n} + X' = \frac{A''B''}{n} + X'' \text{ u. ſ. w.,}$$

wobei n die frühere Bedeutung hat (286). Aus dieſen Gleichungen folgt

$$A'B' - AB = n(X - X'),\ A''B'' - A'B' = n(X' - X'') \text{ u. ſ. w.}$$

Es verhalten ſich demnach die Unterſchiede jener Halbmeſſer wie die Unterſchiede der Strahlen AB, A'B', A''B'' ꝛc., woraus nothwendig hervorgeht, daß die ſtetige Folge der benachbarten Durchſchnittspuncte aller ſo möglichen gleichzeitigen Kugelwellen eine Ebene darſtellt, die ſämmtliche Kugelflächen gemeinſchaftlich berührt. Um die Lage dieſer Ebene zu finden, ziehe man zu AZ im brechenden Mittel die Parallele KH, verlängere AB bis H, beſchreibe aus B mit einem Halbmeſſer, der ſich zu BH verhält wie 1 : n, einen Kreis, und ziehe zu demſelben aus K die Tangente KL. Dieſe iſt der Durchſchnitt der gebrochenen Welle, und der zum Berührungspuncte L gehende Halbmeſſer BL iſt der aus AB entſpringende gebrochene Strahl. In der That, verlängert man A'B' bis H' und zieht man B'L' auf KL ſenkrecht, ſo hat man einerſeits BK : B'K' = BH : B'H', andererſeits

$$BK : B'K' = BL : B'L', \text{ mithin } BL : B'L' = BH : B'H'.$$

Aber es iſt

$$BL : BH = 1 : n, \text{ oder } BL = \frac{BH}{n}, \text{ mithin auch } B'L' = \frac{B'H'}{n}.$$

Dem gemäß ergibt ſich

$$\frac{AB}{n} + BL = \frac{AB + BH}{n} = \frac{AH}{n};\quad \frac{A'B'}{n} + B'L' = \frac{A'B' + B'H'}{n} = \frac{A'H'}{n}$$

Aber es iſt AH = A'H', folglich iſt auch

$$\frac{AB}{n} + BL = \frac{A'B'}{n} + B'L'.$$

Betrachtet man daher BL als den Halbmeſſer X; ſo iſt B'L' = X', wodurch die Uebereinſtimmung von KH mit der Lage der gebrochenen Welle bewieſen iſt. Auch ſieht man, daß dieſe Conſtruction mit der in 252 gewieſenen identiſch iſt.

288. Aus den allgemeinen Gleichungen der Fortpflanzung der undulirenden Bewegung in einem Syſteme materieller Theilchen von der Art, wie man ſich den Lichtäther vorzuſtellen hat, ergibt ſich, Cauchy's Analyſe gemäß, das wichtige Reſultat, daß die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der einfachen Schwingungen, in welchen das homogene Licht beſteht, im Allgemeinen von der Schwingungsdauer abhängt. Beide Größen erſcheinen nämlich durch eine Gleichung mit einander verknüpft, in welcher ſich übrigens noch Größen befinden, die durch die ſpecielle Natur des Mittels dargeboten werden. Iſt daher

die eine der zwei erſteren Größen gegeben, ſo iſt die andere beſtimmt. Hierin liegt der Grund, daß die Wellen, worin die Aethertheilchen ihre Schwingungen in kürzerer Zeit vollbringen, ſich langſamer fortpflanzen als diejenigen, deren Schwingungsdauer größer iſt. Erſteres iſt bei den violettes Licht gebenden Wellen, letzteres bei den rothes Licht gebenden der Fall. Aber der Brechungswinkel hängt bei gleicher Incidenz von dem Verhältniſſe der Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten des Lichtes in den an einander grenzenden Mitteln ab, und zwar wird eine Lichtwelle um ſo ſtärker gebrochen, je langſamer ſie in dem brechenden Mittel fortſchreitet. Es ſind demnach die Wellen, deren Aethertheilchen eine kürzere Schwingungsdauer haben, die brechbareren. Hierin liegt der Grund der Zerlegung des weißen Lichtes durch Brechung in ſeine farbigen Beſtandtheile und überhaupt der Zerlegung jedes nicht homogenen Lichtes. Es erklärt ſomit die Undulationstheorie dieſe Zerlegung oder die ſogenannte Diſperſion des Lichtes vollkommen. (Mémoire sur la dispersion de la Lumiere. Par A. L. Cauchy. Prague 1836.)

Da die Undulationstheorie die Erklärung, welche ſie von der Brechung des Lichtes gibt, aus derſelben Quelle ſchöpft, aus welcher die Erklärung der Reflexion hervorgeht, ſo ſieht man daraus zugleich, warum an der Grenze eines durchſichtigen Körpers beide Erſcheinungen in Verbindung mit einander auftreten. Die Emanationshypotheſe vermochte das Band, wodurch Reflexion und Brechung des Lichtes zuſammenhängen, nur mittelſt ganz willkürlicher Hilfshypotheſen feſtzuhalten. Die Brechung des Lichtes ſieht man nach dieſer Hypotheſe als das Ergebniß einer anziehenden Kraft des brechenden Mittels an. Man meint, es ſey dieſe Kraft in keinem Widerſpruche mit der, woraus nach derſelben Anſicht die Reflexion des Lichtes erklärt wurde, weil es denkbar iſt, daß dieſelbe Kraft, die in einem Zuſtande anziehend wirkt, in einem anderen eine abſtoßende Wirkung ausübe. Dieſe Kraft muß nach einer Richtung wirken, welche auf der Oberfläche des brechenden Mittels ſenkrecht ſteht, weil ein ſenkrecht einfallender Strahl nicht gebrochen wird, und ihre Wirkſamkeit kann ſich in einem merklichen Grade nur auf eine ſehr geringe Entfernung erſtrecken, weil ſonſt die Ablenkung des Lichtes ſchon in der Nähe des brechenden Mittels bemerkbar ſeyn müßte, was aber nicht der Fall iſt. Um aus der Wirkſamkeit dieſer Kraft die Erſcheinungen der Brechung abzuleiten, denke man ſich wieder die Geſchwindigkeit des vom leeren Raume einfallenden Lichtes in eine normale und in eine parallele zerlegt. Erſtere wird durch die anziehende Kraft des Mittels beim Eintritte des Lichtes in dasſelbe verſtärkt, letztere davon gar nicht afficirt; daher kommt es, daß die Bahn des Lichtes, welche die Reſultirende dieſer beiden Bewegungen im durchſichtigen Mittel iſt, näher an der normalen liegt, als im leeren Raume, und daher eine Brechung zum Einfallslothe erfolgt. Kommt das Licht nicht vom leeren Raume, ſondern von einem brechenden Mittel in ein anderes, ſo hängt das Ergebniß der Brechung von dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte beider Mittel ab. Iſt die Kraft des Mittels, aus welchem ein Strahl kommt, kleiner, als die desjenigen, in welches er eintritt, ſo iſt der Erfolg derſelbe, als käme er vom leeren Raume in ein Mittel, deſſen Anziehung dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte beider gleich iſt; er wird daher, wie vorher, zum Einfallslothe gebrochen. Verhält es

ſich aber umgekehrt, ſo iſt es gerade ſo, als wenn das zweite Mittel abſtoßend auf das Licht wirkte, mit einer Kraft, welche dem Unterſchiede der Anziehungskräfte beider Mittel gleich iſt. In dieſem Falle wird die auf die Einfallsebene ſenkrechte Geſchwindigkeit des Strahles beſtändig vermindert, er beſchreibt eine gegen das Einfallsloth convexe krumme Linie, und wird vom Einfallslothe gebrochen. Die Farbenzerſtreuung wird in der Emanations-Hypotheſe als eine natürliche Folge der Wirkſamkeit ſolcher anziehenden Kräfte erklärt, welche auf Licht-Theilchen von verſchiedener Maſſe verſchieden wirken, und dadurch eine verſchiedene Ablenkung derſelben hervorbringen.

Der Umſtand, daß nach der Emanationshypotheſe die Medien, welche den Gang des eintretenden Lichtes beſchleunigen, es zum Einfallslothe, und die, welche den Gang des eintretenden Lichtes verzögern, es vom Einfallslothe brechen, während nach der Undulationstheorie gerade das Gegentheil Statt findet, könnte, wenn es noch nöthig wäre, zu einer directen Entſcheidung des Rangſtreites beider Anſichten dienen, ſobald es gelänge, durch Verſuche nachzuweiſen, ob das Licht in ſtärker brechenden Mitteln ſich langſamer oder ſchneller bewege, als in ſchwächer brechenden. Arago hat hiezu die Anwendung des Wheatſtone'ſchen rotirenden Spiegels vorgeſchlagen, durch deſſen Hilfe ſich das Zeitintervall, das zwiſchen zwei raſch auf einander folgenden Lichteindrücken obwaltet, bemerkbar machen läßt. Man hätte ſonach nur das von einem Puncte momentan oder wenigſtens binnen eines ſehr kleinen, die Dauer einer Umdrehung des Spiegels nicht erreichenden Zeittheiles ausgehende Licht durch die Luft und zugleich durch ein anderes Medium, z. B. Waſſer zu leiten, und die Augenblicke der Wahrnehmung nach der Stellung der Bilder mit einander zu vergleichen. (Pogg. Ann. 46. 28.)

Sechstes Kapitel.

Beugung des Lichtes.

289. Es gibt Erſcheinungen, welche mit der Annahme, daß das Licht ſich nothwendiger Weiſe in Folge ſeiner inneren, d. i. durch ſeine Natur gegebenen Beſchaffenheit ſtets geradlinig fortpflanzen müſſe, wie man dieß vordem allgemein vorausgeſetzt hat, unverträglich ſind. Eine der auffallendſten Erſcheinungen dieſer Art zeigt ſich an dem Schatten eines ſchmalen undurchſichtigen Körpers, z. B. eines geraden Drahtes, etwa einer gewöhnlichen Stricknadel, worauf man durch eine kleine Oeffnung am Fenſterladen des verfinſterten Zimmers oder durch eine enge, dem Drahte parallele Spalte Sonnenlicht leitet. Anſtatt eines einförmigen dunklen Schattenbildes, deſſen Breite ſich zu jener des Drahtes verhält wie die Diſtanz des Schirmes, worauf man den Schatten fallen läßt, von der Lichtquelle zu der gleichnamigen Diſtanz des Drahtes, wie man es nach der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erwarten ſollte, zeigt ſich eine Art Spectrum. Die Hauptform deſſelben ſtimmt wohl mit dem erwarteten Schattenbilde überein, nur iſt es bedeutend breiter; in der Mitte, wo gerade der intenſivſte Schatten ſeyn ſollte, ſieht man der Länge nach einen hellen Streifen

und zu beiden Seiten deſſelben dunkle Linien; bei größerer Diſtanz des Schirmes vom Drahte, deren nur zwei und außerhalb derſelben einige farbige Säume; bei geringerer Diſtanz des Schirmes aber mehrere, zu deren Wahrnehmung man jedoch ein Vergrößerungsglas zu Hilfe nehmen muß, wobei man ſogar des Schirmes ganz entbehren kann, da ſich die Erſcheinung, wenn man gegen den Draht hinſieht, auch vor dem Vergrößerungsglaſe in der Luft zeigt. Man erblickt da in der Mitte des Geſichtsfeldes ein Syſtem gleichweit von einander abſtehender, der Richtung des Drahtes parallelen dunklen Linien, die durch helle Zwiſchenräume getrennt ſind. Auf dieſe Weiſe ſieht man an dem Rande jedes auch breiteren, von einem Puncte aus beleuchteten Körpers mehrere farbige Streifen. Man betrachtete dieſe und verwandte ſogleich näher anzugebende Erſcheinungen als das Reſultat einer Ablenkung des Lichtes von ſeiner geraden Richtung durch die Ränder des Körpers, an dem es vorbeigeht, und nannte ſie **Beugung** oder **Inflexion (Diffraction)** des Lichtes, welche Benennungen noch gegenwärtig im Gebrauche ſind.

Schon **Grimaldi** hat um die Mitte des 17. Jahrhunderts die Eigenthümlichkeiten des Schattens eines ſchmalen Körpers bemerkt; die Beobachtungsweiſe mit dem Vergrößerungsglaſe wurde aber erſt in neuerer Zeit durch **Fresnel** und **Mayer** angewendet. Man hält das Vergrößerungsglas nicht dicht an das Auge, ſondern etwas davon entfernt, nämlich ſo weit, daß wenn man gegen das Licht hinſieht, das ganze Geſichtsfeld ſich erleuchtet zeigt. Auf dieſe Weiſe läßt ſich die obige Erſcheinung ſogar bei Kerzen- oder Lampenlicht beobachten.

290. Noch auffallender iſt das umgekehrte Phänomen, wenn man das von einem leuchtenden Puncte oder beſſer von einer engen Spalte kommende Licht durch eine zweite der erſten parallele enge Spalte gehen läßt. Man kann die Erſcheinung mit einem Schirme auffangen oder mit einem Vergrößerungsglaſe betrachten, ja ſogar wenn die zweite Spalte nur gehörig eng iſt, ſich damit begnügen, dieſe dicht vor das Auge zu halten und nach der Lichtquelle hinzuſehen. Die vollkommenſte Beobachtungsweiſe iſt aber unſtreitig die von **Fraunhofer** angegebene. Man bedient ſich nach derſelben eines guten Fernrohres, welches man ſo richtet, daß man die Spalte am Fenſterladen deutlich ſieht und vor deſſen Objectiv man die andere Spalte anbringt. Man nimmt da eine ſehr ſchöne Erſcheinung wahr. Zielt das Fernrohr ſammt der davor befindlichen Spalte gerade gegen die Lichtquelle, ſo ſieht man in der Mitte des Geſichtsfeldes einen weißen Streifen a, (Fig 310) deſſen Höhe ſo groß als die ſcheinbare Höhe der Lichtlinie, deſſen Breite aber um ſo größer iſt, je enger man die Spalte vor dem Fernrohre macht. Dieſer Streifen iſt gegen beide Enden zu gelb und zuletzt roth gefärbt; zu beiden Seiten deſſelben erblickt man eine Folge von Farbenbildern in übereinſtimmender Anordnung, und zwar zunächſt ein lebhaftes Farbenbild b, welches unmerklich in ein zweites, minder intenſives c, dann in ein drittes wieder

ſchwächeres d übergeht u. ſ. f. An der Seite, welche der Mitte der ganzen Erſcheinung zugekehrt iſt, erſcheint die Farbe jedes Bildes violett, dann folgt Blau, Grün und zuletzt Roth, man erkennt aber nur im erſten Farbenbilde alle ſechs Farben, beim zweiten fehlt Violett, beim dritten Violett und Blau ꝛc. Ein am Ocularglaſe des Fernrohrs angebrachtes kleines Prisma, deſſen Are horizontal ſtehen muß, wenn die Oeffnung des Schirmes vertical iſt, zeigt, daß die der Are nahen Farbenbilder nicht aus homogenem Licht beſtehen, daß es aber die weiter von der Are entfernten allmälig werden. Je kleiner die Oeffnung am Schirme iſt, deſto mehr rücken die Farbenbilder aus der Mitte des Geſichtsfeldes und deſto breiter werden ſie, ſo daß die Ablenkungswinkel des Lichtes ſtets der Breite der Oeffnung verkehrt proportionirt ſind. Die Abſtände beſtimmter Strahlen in den auf einander folgenden Farbenbildern, z. B. der rothen, wachſen zu beiden Seiten von der Mitte, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Die Breite der Oeffnung am Fenſter, durch welche man das Licht einläßt, hat auf die Anordnung und Lage der einzelnen Farbenbilder keinen Einfluß, ſie beſtimmt aber die Reinheit und Deutlichkeit der Farben, weil der einfallende Lichtbüſchel bei einer verticalen Spalte gleichſam aus verticalen Lichtlinien beſteht, deren jede ihr Farbenbild gibt. Bei einer nur etwas breiten Oeffnung verurſacht das Aufeinanderfallen mehrerer ſolchen Bilder eine Undeutlichkeit, daher es auch kommt, daß bei einer gewiſſen Größe der Spalte alle Farben verſchwinden.

291. Iſt das gebeugte Licht gleichartig, welches man entweder durch ein der lichtgebenden Spalte jenſeits des Fernrohres vorgeſetztes Prisma erhält oder auch nur dadurch, daß man das Phänomen durch ein gefärbtes Glas oder durch eine gefärbte Flüſſigkeit, welche nur gleichartiges Licht durchläßt, betrachtet; ſo erſcheinen ſtatt der Farbenbilder, die ſich im vollen Sonnenlichte zeigen, Streifen von der Farbe des durchgelaſſenen Lichtes, welche durch völlig dunkle Schattenräume von einander getrennt ſind. Jedoch iſt die Intenſität des farbigen Lichtes und der dunkeln Stellen nicht allenthalben gleich, ſondern es gibt in jedem Farbenſtreifen eine am ſtärkſten beleuchtete Linie, von der zu beiden Seiten die Lichtſtärke allmälig abnimmt und ins völlige Schwarz übergeht. Je mehr ſich dieſe Streifen von der Mitte entfernen, deſto ſchwächer findet man ſie, bis ſie endlich ganz undeutlich und unſichtbar werden. Die Farbenſtreifen ſind im violetten Lichte ſchmäler als im blauen, in dieſem ſchmäler als im grünen und ſo fort bis zum rothen. Hierdurch wird das Farbenſpiel des Beugungs-Phänomens im weißen Licht begreiflich; es iſt das Reſultat des gleichzeitigen Vorhandenſeyns der den einzelnen Lichtſorten, welche das weiße Licht zuſammenſetzen, entſprechenden Erſcheinungen.

Man findet leicht rothe Gläſer, die nahe nur homogenes Licht durchlaſſen. Für blaues Licht dient ſehr gut ſchwefelſaures Kupferoxyd-Ammoniak, welches man darſtellt, indem man einer Kupfervitriol-

löſung ſo lange Ammoniak zuſetzt, bis der anfänglich ſich zeigende Niederſchlag ſich wieder auflöſt. Man füllt die ſchön blaue Flüſſigkeit in eine Flaſche mit parallelen Wänden. Ob ein Glas oder eine Flüſſigkeit nur homogenes Licht durchlaſſe, findet man, wenn man das gefärbte Medium vor das mittelſt eines Prismas nach einer Lichtflamme ſehende Auge bringt. Es darf von dem Farbenbilde nur eine Farbe übrig bleiben, wenn das Glas oder die Flüſſigkeit brauchbar ſeyn ſoll.

292. Stellt man vor das Objectiv des Fernrohres, auf welches weißes Licht fällt, einen Schirm mit zwei gleichen ſchmalen einander nahen Oeffnungen, ſo ſieht man Spectra, welche denen ganz ähnlich ſind, die eine einzelne dieſer Oeffnungen für ſich geben würde; aber in der Mitte des Geſichtsfeldes (vorausgeſetzt, daß die Axe des Fernrohres gegen die Spalte am Fenſter gerichtet iſt) finden ſich ſtatt des weißen Streifens, den eine der Oeffnungen gegeben hätte, ſchmale Farbenbilder vor, durch welche dieſer Streifen getheilt wird: die Mittellinie des Geſichtsfeldes nimmt ein weißer Streifen ein. Wendet man einen Schirm mit drei Oeffnungen an, ſo entſtehen zwiſchen den ſo eben erwähnten Farbenbildern und der Mitte des Geſichtsfeldes neue, deren Zahl ſich vermehrt, während ſie an Breite abnehmen, wenn man einen Schirm mit vier, fünf Spaltöffnungen u. ſ. w. vor das Objectiv bringt. Hiebei ändern ſich die äußeren Farbenbilder nur wenig. Um dieſe Erſcheinungen wahrzunehmen, bediene man ſich eines Gitters mit vielen gleichen parallelen Zwiſchenräumen, ſetze vor daſſelbe einen Schirm mit einer Spalte, die ſich erweitern läßt, und geſtatte ſo allmälig dem Lichte durch mehrere dieſer Spaltöffnungen den Eingang in das Fernrohr. Tritt eine große Anzahl Oeffnungen in Wirkſamkeit, ſo werden der letzteren Farbenbilder ſo viele, und ſie ſelbſt ſo ſchmal, daß ſie zuletzt kaum merklich ſind, und der weiße Streifen in der Mitte des Geſichtsfeldes geſtaltet ſich immer mehr zum Bilde der Oeffnung am Fenſterladen. Man hat daher, wenn Strahlen durch eine geringe Anzahl von gleichen parallelen Spaltenöffnungen ins Fernrohr kommen, dreierlei Spectra zu unterſcheiden: äußere oder nach Fraunhofer, Spectra der erſten Claſſe, die ſchon bei einer einzigen beugenden Spaltöffnung vorhanden ſind; mittlere oder Spectra der zweiten Claſſe, die bei Anwendung von zwei Spaltöffnungen eintreten und bei wachſender Anzahl der Oeffnungen ſich fort erhalten; innere oder Spectra der dritten Claſſe, die erſt bei drei Spaltöffnungen entſtehen und bei wachſender Anzahl der Oeffnungen ſich vervielfältigen und weniger merklich werden. Aus genauen Meſſungen folgt: 1) Bei einem und demſelben Gitter, aber einer verſchiedenen Anzahl Oeffnungen verhalten ſich die Abſtände derſelben inneren Farbenbilder von der Axe umgekehrt, wie die Anzahl der gebeugten Strahlen. 2) Bei verſchiedenen Gittern und einer gleichen Anzahl Zwiſchenräume wachſen die Abſtände derſelben Farbenbilder von der Axe, wie verkehrt die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 3) Die Abſtände der einzelnen Farbenbilder von der Axe wachſen, wie

die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt.

293. Macht man dieſen Verſuch mit homogenem Lichte, ſo ſieht man die von dieſem Lichte herrührenden Antheile der Spectra der zweiten Claſſe ſich bei wachſender Anzahl der Oeffnungen nicht bloß in der Mitte des Geſichtsfeldes, ſondern auch an den übrigen Orten zu Bildern der Oeffnung am Fenſterladen geſtalten, zwiſchen welchen ſich die dem gewählten Lichte entſprechenden Antheile der Spectra der dritten Claſſe zeigen, die alſo auch nicht bloß in der Mitte des Geſichtsfeldes vorhanden ſind. Die Dimenſionen der Erſcheinung ſind für rothes Licht am größten und nehmen bis zum violetten ſtufenweiſe ab.

294. Läßt man endlich weißes Licht durch eine ſehr große Anzahl ſchmaler Oeffnungen gehen, deren Entfernungen von einander vollkommen gleich ſind, indem man ein Gitter mit ſehr vielen kleinen Oeffnungen vor das Objectiv des Fernrohres ſtellt und durch eine ſchmale Oeffnung Licht darauf leitet; ſo ſieht man die Oeffnung am Fenſterladen wie ohne Gitter (Fig. 311) und in einiger Entfernung davon zu beiden Seiten, vollkommen ſymmetriſch, eine große Anzahl Farbenbilder, wie die, welche ein gutes Prisma hervorbringen; ſie werden breiter, aber auch matter, ſo wie ſie ſich von der Mitte entfernen. Die erſten ſind durch dunkle Zwiſchenräume von einander getrennt, dieſe werden aber bei den folgenden immer ſchmäler, bis ſie ganz verſchwinden und die Spectra unvermerkt in einander übergehen, ſich auch zum Theile decken. Man bemerkt auch bei gehöriger Stellung des Oculars in dieſen Farbenbildern die dunklen Linien, zum Beweiſe, daß die Spectra aus homogenem Lichte beſtehen. Zugleich finden folgende Geſetze der Ablenkung des Lichtes Statt: 1) Bei verſchiedenen Gittern aus ſehr vielen, parallelen, gleich dicken Fäden und gleichen Zwiſchenräumen verhalten ſich die Sinuſſe der Ablenkungswinkel gleicher Theile der Farbenbilder umgekehrt wie die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 2) Für jedes einzelne Gitter bilden die Sinuſſe der Ablenkung gleichartiger, farbiger Strahlen der verſchiedenen Farbenbilder Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Das Auftreten der Spectra mit homogenem Lichte erklärt ſich leicht aus 291. Jedes ſolche Spectrum iſt die Aufeinanderfolge der Bilder der Spalte am Fenſterladen für einfache Lichtſorten von verſchiedener Farbe. Wo Licht von einer gewiſſen Abſtufung mangelt, erſcheint eine Lücke als dunkle Linie. Die Bilder in der Mittellinie des Geſichtsfeldes decken ſich und geben daher ein weißes Bild der Spalte am Fenſter.

Gitter zu dieſem Verſuche erhält man am beſten, wenn man entweder dünnen Gold- oder Silberdraht in die Gänge ſehr feiner Schrauben ſpannt, oder wenn man in ein mit Goldblättchen belegtes Planglas Parallellinien radirt, oder nur mit einem Diamant in ein Planglas ſolche Linien zieht. Fraunhofer bediente ſich bei den ſubtilſten Verſuchen dieſer Art eines auf die letzte Art verfertigten Gitters aus 3601

Linien, deren je zwei von ihrer Mitte aus gerechnet nur 0.0001223 P. Zoll von einander abſtanden.

295. Sehr überraſchende Erſcheinungen, durch Farbenpracht und Symmetrie ausgezeichnet, zeigen ſich, wenn Strahlen durch mehrere runde oder eckige Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres fallen, mithin Strahlen, die nach mehreren Richtungen gebeugt ſind, zuſammen wirken. Fällt z. B. das Licht durch zwei gleiche, aber kleine, runde Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres, ſo erblickt man darin die Erſcheinung, welche Fig. 312, a, vorſtellt, wo die weißen Räume Farbenbilder ſind. Bei drei ſolchen Oeffnungen, deren Mittelpuncte ein gleichſeitiges Dreieck geben, ſieht man das Phänomen, welches Fig. 312, b, andeutet. Unbeſchreiblich prächtig ſind die Erſcheinungen, die man erhält, wenn das Licht durch viele gleich geſtaltete und in ſymmetriſcher Anordnung neben einander ſtehende kleine Oeffnungen ins Fernrohr tritt. Sie hängen von der Geſtalt und Anordnung dieſer Oeffnungen ab, laſſen ſich aber nicht wohl in einem kleinen Raume abbilden.

Als Beleg des Geſagten mag die von Fraunhofer zuerſt dargeſtellte Beugungserſcheinung dienen, welche zwei gekreuzte Gitter mit gleichen Spaltöffnungen geben, wodurch gleichſam ein Gitter mit quadratiſchen gleichen und gleichweit von einander abſtehenden Oeffnungen entſteht; ferner die eines Gitters mit vielen regelmäßig geſtellten dreieckigen Oeffnungen, dergleichen von Herſchel und Schwerd conſtruirt wurden, wobei die dichten Gruppen der farbigen Spectra durch die Radien eines ſechsſtrahligen Sternes geſondert erſcheinen u. dgl. Man kann viele dieſer und die vorhin beſchriebenen Erſcheinungen, welche Gitter mit parallelen Zwiſchenräumen zeigen, mit einfachen Mitteln hervorbringen, dergleichen vorzüglich von Schwerd angegeben worden ſind. Feine Gitter braucht man nur vor das Auge zu halten und nach einem Lichtpuncte hinzuſehen, den das an der convexen Fläche eines geſchwärzten Uhrglaſes, in einem polirten Metallknopfe, einer gefüllten Thermometerkugel u. dgl. ſich ſpiegelnde Sonnenbildchen darſtellt; eine leuchtende Linie erhält man durch Spiegelung einer Stricknadel, einer Glasröhre ꝛc im Sonnenlichte. Bequemer iſt allerdings ein Handhelioſtat. Ueberhaupt bedarf man keines verfinſterten Zimmers. Die einfacheren, mittelſt eines Fernrohres zu betrachtenden Gitter laſſen ſich aus Kartenpapier oder beſſer aus Stanniol, den man auf einen Rahmen ſpannt oder auf Glas klebt, ausſchneiden.

296. So lange das Licht auf ein durchſichtiges oder undurchſichtiges Gitter ſenkrecht einfällt, erſcheinen die durch Beugung entſtandenen Spectra zu beiden Seiten des Bildes der Spalte vollkommen ſymmetriſch angeordnet, bei ſchief einfallendem Lichte hört jene Symmetrie auf und die einzelnen Spectra erſcheinen an der Seite, welche mit dem einfallenden Strahle einen ſpitzigen Winkel macht, größer als an der anderen; dieſe Ungleichheit wächſt mit dem Einfallswinkel des Lichtes.

297. Alle Beugungsphänomene ſtimmen darin überein, daß ſie von der materiellen Beſchaffenheit der das Licht beugenden Kör-

per gänzlich unabhängig ſind und ſich lediglich nach den Dimenſionen derſelben richten. Der das Licht beugende Draht (289) kann durch die Schneide oder den Rücken eines Meſſers, durch ein Haar, einen Streifen Papier, einen auf Glas gezeichneten oder radirten Strich ꝛc. erſetzt werden; die Gitter kann man aus jedem beliebigen durchſichtigen oder undurchſichtigen Materiale anfertigen. Hiebei iſt alſo nichts den Molecularkräften oder der Gravitation Aehnliches im Spiele. Die Undulationstheorie, und nur ſie allein, gibt über den Grund dieſer Erſcheinungen Aufſchluß, was ſie aber bis in das kleinſte Detail zu thun vermag, wie die folgenden Deductionen zeigen werden, bei welchen wir mit der Betrachtung der Beugung des Lichtes durch eine oder mehrere enge Spalten, als dem leichteren Falle, den Anfang machen.

298. Es ſey AB, Fig. 313, der Durchſchnitt eines mit einer engen Spalte CD verſehenen Schirmes mittelſt einer Ebene, die ſenkrecht gegen die parallelen Ränder der Spalte gelegt wurde. Von einem leuchtenden Puncte falle gleichartiges Licht ſenkrecht auf die Oeffnung CD aus einer ſolchen Entfernung, daß alle dieſe Oeffnung treffenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen. In jedem Augenblicke tritt in die Oeffnung CD eine neue Welle ein, von deren Krümmung wir aus dem angeführten Grunde abſtrahiren, d. h. die wir als eben anſehen. Alle Aetherthe ilchen in der Oeffnung CD werden in jedem Augenblicke von einer Welle gemeinſchaftlich ergriffen, ſie ſind daher in demſelben Augenblicke in einerlei Vibrationsphaſe. Errichten wir in dem Halbirungspuncte E auf CD in der Ebene des Schnittes eine Senkrechte EF, ziehen wir ferner durch den in einer bedeutenden Entfernung von E befindlichen Punct F eine Parallele MN zu AB, und betrachten wir dieſe als den Durchſchnitt einer Tafel, auf der das Beugungsphänomen, welches die Folge des Durchganges des Lichtes durch die Spalte CD iſt, ſich zeigen ſoll. Von allen in der Oeffnung CD vorhandenen Aethertheilchen gehen in jedem Augenblicke nach allen Richtungen Schwingungen aus, durch welche (da wir hier nur den Hergang des Phänomens in der Luft betrachten) das Licht mit einerlei Geſchwindigkeit fortgepflanzt wird. Hiebei wird die Phaſe, in der ſich jedes der genannten Aethertheilchen befindet, auf alle daſſelbe umgebenden Aethertheilchen übertragen. Treffen nun in einem Puncte der Tafel MN, z. B. in dem Puncte G, Schwingungen zuſammen, die verſchiedene Wege wie CG, EG, DG, zurückgelegt haben, ſo ſind dieſelben von den Puncten C, E, D nicht in demſelben Augenblicke ausgegangen, ſondern die Schwingung, die von C herrührt, iſt, da ſie einen längern Weg CG zurückzulegen hatte, früher ausgegangen, als die von E herrührende, und dieſe wieder früher, als die von D erzeugte. Deßhalb befinden ſich dieſe Schwingungen im Augenblicke ihres Zuſammentreffens in G in verſchiedenen Phaſen, nämlich die Schwingungen, welche das Aethertheilchen in C lieferte, in einer früheren als die von E, und dieſe wieder in einer früheren als die von D herkommt. Aehnliche Betrachtungen gelten

von den Schwingungen, welche die übrigen Aethertheilchen innerhalb der Oeffnung CD nach G ſenden. Aus der Interferenz aller dieſer Vibrationen geht eine Intenſität des Lichtes in G hervor, die nach der Poſition dieſes Punctes auf der Tafel MN wechſelt. Wir wollen nun dieſe Intenſität an verſchiedenen Stellen der Tafel MN näher ins Auge faſſen. Im Puncte F kommen Vibrationen zuſammen, die ſich ſämmtlich in wenig von einander abweichenden Phaſen befinden, weil wegen der größeren Entfernung der Tafel MN vom Schirme AB im Vergleiche gegen CD, der Unterſchied zwiſchen CF und EF nur äußerſt gering iſt. Dieſe Vibrationen unterſtützen einander und bringen in F eine Schwingungsintenſität zu Stande, die der Summe der einzelnen Schwingungsintenſitäten nahe gleich kommt, womit auch die Lichtintenſität eine Steigerung erfährt. In F iſt daher dieſe Intenſität am größten. Schreitet man von da nach der einen oder der andern Seite der Tafel MN fort, ſo nimmt die Intenſität des Lichtes ab. Je weiter man kommt, deſto beträchtlicher wird die Differenz der äußerſten Strahlen wie CG und DG, welche Differenz an der Stelle F gleich Null war. Sobald dieſe Differenz der Wellenlänge L gleich geworden iſt, was jedoch wegen $CG - DG < CD$ nur dann eintreten kann, wenn die Breite der Spalte CD die Größe von L übertrifft, hat man eine Stelle erreicht, in welcher völlige Aufhebung des Lichtes Statt findet. Es ſey nämlich die Poſition des Punctes G von der Art, daß $CG - DG = L$ iſt, ſo iſt ſehr nahe $CG - EG = \frac{1}{2}L$, und überhaupt wenn α und β Puncte ſind, deren erſterer von C ſo weit abſteht, als β von E, iſt ſehr nahe $\alpha G - \beta G = \frac{1}{2}L$. Man kann daher für jedes Theilchen zwiſchen C und E ein Theilchen zwiſchen E und D angeben, welches eine Schwingung nach G ſendet, die ſich rückſichtlich der vom erſteren ausgehenden in entgegengeſetzter Phaſe befindet, mithin dieſelbe aufhebt. Dasſelbe ereignet ſich im Puncte G′, wenn die Differenz der Strahlen CG′ und DG′ das Doppelte der Wellenlänge L mithin 2 L beträgt. Da kann man nämlich auf CE und ED wegen $CG' - EG' = L$ und $EG' - DG' = L$ das ſo eben Geſagte anwenden. Dieſelbe Bewandtniß hat es, wenn der Punct G″ ſo liegt, daß $CG'' - DG'' = 3L$ iſt u. ſ. w. In den Puncten G, G′, G″ ... auf beiden Seiten von EF wird demgemäß Dunkelheit herrſchen. Zwiſchen G und G′ wächſt die Intenſität des Lichtes bis zu einem gewiſſen Grade und nimmt ſodann wieder ab; ein Gleiches iſt zwiſchen G′ und G″ der Fall u. ſ. w. Beſchreibt man aus G mit dem Halbmeſſer GD den Bogen DH, ſo iſt $CH = CG - DG$. Läßt man dieſen Bogen für eine gerade Linie gelten, die auf GE ſenkrecht ſteht, ſo iſt der Winkel $CDH = FEG$, mithin, wenn man letzteren Winkel durch φ bezeichnet, $\sin\varphi = \frac{CH}{CD}$. Setzt man nun die Breite der Spalte $CD = a$ und $CG - DG = nL$, wobei n eine ganze Zahl vorſtellt, ſo iſt $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$. Mittelſt die-

ſer Formel läßt ſich, wenn L bekannt iſt, der Ablenkungswinkel der Stellen, wo Dunkelheit herrſcht, von der Mittellinie der Erſcheinung berechnen. Iſt die Spalte ſo eng, daß a $<$ L wird, ſo gibt dieſe Formel *sin* $\varphi > 1$ was unmöglich iſt; in dieſem Falle herrſcht nirgends auf MN Dunkelheit. Iſt aber a in Vergleich mit L groß, folglich $\frac{L}{a}$ klein, ſo kann man ſtatt dem Sinus von φ den Bogen ſelbſt ſetzen, alſo $\varphi = \frac{nL}{a}$. Dieſe Gleichung gibt das in 290 angekündigte Geſetz, wornach ſich die Abſtände der gleichnamigen Stellen der Farbenbilder richten. Umgekehrt läßt ſich, wenn φ durch Beobachtung gegeben iſt, L finden, denn man hat $L = \frac{a \sin \varphi}{n}$. Hier wurden bloß die Strahlen, welche in der Schnittebene ABNM liegen, berückſichtiget. Es iſt aber für ſich klar, daß dieſelben Schlüſſe auch auf die Strahlen ausgedehnt werden können, welche von einem höheren oder tieferen Querſchnitte ausgehend auf G fallen. Statt der Tafel MN kann man ſich auch das Geſichtsfeld denken, welches mittelſt eines Vergrößerungsglaſes oder mittelſt eines Fernrohres betrachtet wird.

Wendet man zur Beobachtung der Erſcheinung nach Fraunhofer ein Fernrohr an, vor deſſen Objectiv der Schirm mit der Spalte ſteht, und deſſen Ocular ſo gerichtet iſt, daß man den Punct, von welchem das Licht kommt, deutlich ſieht; ſo kann man ohne merklichen Fehler die das Objectiv treffenden Strahlen als parallel gelten laſſen. Alle Elementarſtrahlen, welche nun von der Spalte nach was immer für parallelen Richtungen zu dem Objectiv gelangen, vereinigen ſich in einem Puncte des durch die Mitte des Objectives gehenden Strahles, und haben dabei (wie aus der bereits gegebenen Theorie der Brechung des Lichtes zu erſehen iſt) die Phaſen, mit welchen ſie in irgend einer vor dem Objective auf dieſen Strahl ſenkrecht gelegten Ebene eintreffen. Hierauf beruht auch der Umſtand, daß die Höhe der Beugungsſpectra nicht größer iſt, als die ſcheinbare Höhe der kleinen Oeffnung, von welcher das Licht ausgeht, weßwegen man dieſe Oeffnung mit einer Spalte vertauſchen muß, um die Spectra mit einiger Höhe zu erhalten. Ihre Höhe wird dann der ſcheinbaren Höhe der Spalte am Helioſtate gleich.

299. Es ſeyen im Schirme AB (Fig. 314) zwei einander nahe gleiche und parallele Spalten CD, C′D′ angebracht. Fallen wie vorhin homogene Lichtſtrahlen ſenkrecht auf AB, ſo wird jede der Oeffnungen CD, C′D′ für ſich das vorhin betrachtete Phänomen veranlaſſen. Liegen daher die Puncte G, G′, G″ ... auf der Tafel MN oder im Geſichtsfelde des Fernrohres, ſo daß für ſie hinſichtlich der Oeffnung CD, *sin* $\varphi = \frac{L}{a}, = \frac{2L}{a}, = \frac{3L}{a} \ldots$ iſt, wobei φ, L und a die frühere Bedeutung haben; ſo wird, in ſofern man bloß dieſe Oeffnung wirkſam denkt, in G, G′, G″ ... Dunkelheit herrſchen. Eben ſolche Puncte werden ſich in Bezug auf das durch die Oeffnung CD gehende Licht ergeben. Wendet man zur Beobach-

tung des Beugungsphänomens ein Fernrohr an, ſo fallen dieſe Puncte offenbar mit den früheren zuſammen (ein Grund, der nebſt anderen den Gebrauch des Fernrohres empfiehlt), Auf einer Tafel dagegen ſind ſie um die Größe des Intervalles CC' getrennt und fallen daher, wenn DC' klein iſt, ſehr nahe an einander, ſo daß die den beiden Oeffnungen gehörenden dunklen Stellen im erſten Falle genau, im letzteren beinahe einander decken und übereinſtimmend wirken. Nicht ſo iſt es aber bei den lichten Stellen; denn es kommen da durch die Interferenz der Elementarſtrahlen, die von CD ausgehen, mit jenen, die in $C'D'$ ihren Urſprung haben, beſondere Effecte zu Stande. Liegt nämlich der Punct g auf MN ſo, daß die Differenz $Cg - C'g$ der Hälfte der Wellenlänge, d. i. $\frac{1}{2}L$, gleich kommt; ſo werden alle Strahlen, die von CD nach g gelangen, durch die von $C'D'$ dahin geſendeten getilgt, denn für zwei Puncte γ, γ', deren einer in CD, der andere in $C'D'$ ſo liegt, daß $C\gamma = C'\gamma'$ iſt, hat die Differenz $\gamma g - \gamma' g$ wegen der Kleinheit von CD, $C'D'$ hinſichtlich des Abſtandes der Tafel MN von AB ſehr nahe den Werth $\frac{1}{2}L$, mithin gibt es für jeden Strahl von CD einen von $C'D'$, der nach g in jedem Augenblicke die entgegengeſetzte Phaſe von der hinbringt, die das dort befindliche Aethertheilchen in demſelben Augenblicke durch den erſteren Strahl erhält, wornach in g kein Licht Statt hat. Daſſelbe gilt von den Puncten g', g'' ꝛc., wenn $Cg' - C'g' = \frac{3}{2}L$, $Cg'' - C'g'' = \frac{5}{2}L$ iſt u. ſ. w. Heißt der Winkel, um den jeder nach einem der Puncte g, g', g'' ꝛc. gehende Strahl von der Senkrechten auf AB abweicht, ψ; ſo beſteht zur Beſtimmung der Poſition dieſer Puncte die Gleichung $\sin\psi = \frac{nL}{2b}$, wobei n eine ungerade ganze Zahl und b die Diſtanz CC', oder was daſſelbe iſt, die Diſtanz der Mitten der Spaltöffnungen vorſtellt, welche Gleichung auf dieſelbe Weiſe, wie die in 298 abgeleitete gefunden wird. In der Mitte zwiſchen je zwei benachbarten der Puncte g, g', g'' ... findet die größte Lichtſtärke Statt; die Oerter derſelben werden durch die Gleichung $\sin\psi = \frac{mL}{b}$ gegeben, worin m eine ganze Zahl iſt.

Das Auftreten der inneren Spectra bei einem Schirme mit zwei Oeffnungen, während dieſe, wenn man eine der Oeffnungen zudeckt, ohne Störung der äußeren Spectra wegfallen, kann als experimentaler Beweis der Wirklichkeit der *Lichtinterferenz* dienen, insbeſondere der Aufhebung des Lichtes bei dem Zuſammentreffen zweier Strahlen unter gewiſſen Umſtänden. Schon *Grimaldi* hat den Satz ausgeſprochen, daß durch Hinzufügung von Licht zu Licht Dunkelheit entſtehen könne, es wurde aber dieſe Behauptung nicht beachtet, bis *Young* 1800, durch theoretiſche Betrachtungen geleitet, ſeine Aufmerkſamkeit auf die nach ihm ſogenannte Interferenz des Lichtes richtete und das ſo eben erwähnte Factum zur Nachweiſung ihrer Realität benützte.

300. Enthält der Schirm *drei oder mehrere* gleiche, parallele und gleichweit von einander abſtehende Spalten, ſo entſteht im

homogenen Lichte ein Beugungsphänomen, demjenigen ähnlich, welches eine einzelne der Oeffnungen für ſich gegeben hätte, und aus dem Zuſammenfallen der den einzelnen Oeffnungen zukommenden entſpringend. Die dunklen Stellen deſſelben werden durch die Gleichung $\sin \varphi = \frac{n L}{a}$ gegeben, wobei a die Breite einer Oeffnung bedeutet. Außerdem aber wirken die von den einzelnen Oeffnungen herrührenden Strahlen auf einander wechſelweiſe ein und vernichten ſich an gewiſſen Stellen. Es ſeyen z. B. fünf Oeffnungen vorhanden. Man nehme auf der Tafel MN, Fig. 315, einen Punct g, ſo daß die Differenz

$$C g - C' g = C' g - C'' g = C'' g - C''' g = C''' g - C^{IV} g$$

den fünften Theil der Wellenlänge ausmacht, d. i. $= \frac{1}{5} L$ iſt, ſo herrſcht in g Dunkelheit. Es läßt ſich dieſes mit Zugrundelegung der im erſten Theile S 291 angegebenen Formeln durch Rechnung beweiſen. Gibt man zu, daß durch Interferenz gleichartigen Lichtes nur eine Aenderung der Intenſität, aber keine Aenderung der Farbe Statt finden könne; ſo läßt ſich die Richtigkeit der gemachten Behauptung durch folgendes populäre Reiſonnement anſchaulich machen: Nehmen wir an, das vom Puncte C nach g in irgend einem Augenblicke geſendete Licht befinde ſich in einer gewiſſen Phaſe, ſo iſt die Phaſenzeit des Lichtes, welche in demſelben Augenblicke von C′ nach g kommt, um den fünften Theil der Schwingungsdauer $= \frac{1}{5}$ T gegen erſtere voraus; das von C″, C‴, C^{IV} herrührende Licht iſt der Phaſe nach, im Vergleiche gegen das von C in g eintreffende, um $\frac{2}{5}$ T, $\frac{3}{5}$ T, $\frac{4}{5}$ T voraus; dieſe fünf Strahlen heben nun entweder einander auf oder ſie bringen eine Schwingung des Aethertheilchens in g hervor, vermöge welcher es in dem genannten Augenblicke in einer gewiſſen Phaſe iſt. Wird letzterer Fall als möglich angenommen, ſo kehrt dieſe Phaſe nach der Zeit $\frac{1}{5}$ T wieder zurück. Denn das Licht, welches nach dieſer Zeit von C zu g gelangt, entſpricht einem Fortſchritte in der Schwingung um $\frac{1}{5}$ T, weßwegen ſeine Phaſe jetzt genau die iſt, welche in dem vorigen Zeitpuncte dem von C′ nach g geſendeten Lichte angehörte. Ferner nimmt C′ die frühere Phaſe von C″, C″ jene von C‴, C‴ jene von C^{IV}, endlich C^{IV}, weil wegen des periodiſchen Umlaufes ein Fortſchritt um $\frac{1}{5}$ T in dieſelbe Phaſe führt, wie ein Rückſchritt um $\frac{4}{5}$ T, jene von C an. Es iſt alſo nur die Ordnung, nicht die Größe der Phaſen der fünf interferirenden Lichtſtrahlen geändert, mithin muß das Reſultat der Interferenz das vorige bleiben. Eben ſo kann man zeigen, daß dieſes Reſultat nach dem Verlaufe eines neuen Fünftels der Zeit T wiederkehrt u. ſ. w. Es wäre alſo durch das Zuſammenwirken der genannten Strahlen eine Undulation entſtanden, bei welcher dieſelbe Phaſe wenigſtens nach Verlauf von $\frac{1}{5}$ T wieder kommt, mithin wäre die Undulationsdauer geändert und wenigſtens auf $\frac{1}{5}$ T herabgeſetzt, alſo die Farbe des Lichtes geändert worden, was obiger Conceſſion widerſpricht. Es bleibt ſomit nur der Fall des Aufhebens

der Undulation ſelbſt übrig. Auf dieſelbe Art läßt ſich zeigen, daß ſich die fünf Strahlen, die von anderen aber ähnlich liegenden Puncten in CD, C′D′, C″D″ ꝛc. herkommen, gegenſeitig vernichten. Es herrſcht alſo in g Dunkelheit. Eben entſteht in g′ Dunkelheit, wenn $Cg' - C'g' = \frac{2}{5}L$ iſt, und in g″, wenn $Cg'' = C'g'' = \frac{3}{5}L$ iſt u. ſ. w. Dagegen wird in G volles Licht ſeyn, wenn $CG - C'G = L = \frac{5}{5}L$ iſt, denn da treffen von ähnlich liegenden Puncten der Oeffnungen die Strahlen in einerlei Augenblick in gleichen Phaſen zuſammen und verſtärken ſich. Eben dasſelbe tritt in G′ ein, wenn $CG' - C'G = 2L$ iſt u. ſ. w. Aber in den Puncten, für welche die Strahlendifferenz in Bezug auf ähnlich liegende Puncte benachbarter Oeffnungen $\frac{6}{5}L$ oder $\frac{7}{5}L$ u. ſ. w. iſt, wird Dunkelheit obwalten. Es werden daher die dunklen Stellen hier durch die Formel $\sin\psi = \frac{qL}{rb}$ gegeben, wobei q eine ganze durch die Anzahl r der Oeffnungen nicht theilbare Zahl, uud b den Abſtand der Mittelpuncte zweier nächſten Oeffnungen vorſtellt; den durch die Formel $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$, worin m eine ganze Zahl iſt, angezeigten Stellen aber entſprechen Maxima des Lichtes. Vergleicht man die Reſultate dieſer Erklärung mit der Beſchreibung der Beugungsphänomene in 292, 293, ſo zeigt ſich die vollkommenſte Uebereinſtimmung der Theorie mit der Erfahrung.

301. Geht homogenes Licht ſenkrecht durch ein Gitter mit ſehr vielen einander nahen gleichen Spalten, deren Abſtände gleich ſind, ſo wird in der Formel $\sin\psi = \frac{qL}{rb}$ für die dunklen Stellen der Spectra der dritten Claſſe $r = \infty$, mithin herrſcht überall Dunkelheit, außer wo die durch die Formel $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$ angegebenen lichten Stellen hinfallen. Hieraus erklärt ſich das in 294 beſchriebene Phänomen. Dieſes läßt ſich, wenn ψ′ genau gemeſſen wird, zur Beſtimmung von L gebrauchen, wie Fraunhofer gethan hat. Man erhält nämlich $L = \frac{b \sin\psi'}{m}$. Auf dieſe Weiſe fand Fraunhofer für die Strahlen nächſt den Stellen C, D, E, F, G, H im Farbenbilde (270) folgende Werthe der Wellenlänge in der Luft in Hunderttauſendtheilen eines Pariſer Zolles.

Wellenlänge für	C = 2.422
	D = 2.175
	E = 1.945
	F = 1.794
	G = 1.587
	H = 1.464.

Die ungemeine Kleinheit der Wellenlängen des Lichtes, im Vergleiche mit deſſen ungeheurer Fortpflanzungsgeſchwindigkeit, läßt auf eine an-

ßerordentliche Kleinheit der Schwingungsdauer, mithin auf eine über alle Vorſtellung große Menge von Schwingungen in einer Zeitſecunde ſchließen. Es hängt nämlich die Wellenlänge L mit der Schwingungsdauer T und mit der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit V der Wellen durch die Gleichung $L = V\,T$ zuſammen. Bezieht ſich die Angabe von V auf eine Secunde, wornach auch T durch die Secunde zu meſſen iſt, ſo gibt $\frac{1}{T}$ die Anzahl der Schwingungen N in einer Secunde, mithin iſt $N = \frac{V}{L}$. Nimmt man nun an, für eine gewiſſe Lichtſorte (von gelber Farbe) ſey $L = 0.00002$ W. Zoll, und ſchlägt man den Werth von V nur auf 40000 Meilen an, jede zu 4000 Klafter gerechnet, ſo hat man, durch Reduction von V auf Zolle,

$$N = 4000 \cdot 4000 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 100000 : 2 = 576 \cdot 10^{12}.$$

Es zeigt ſich daher in dieſem Falle die ungeheure Anzahl von 576 Billionen Schwingungen in 1 Secunde. Die Schwingungsdauer iſt für rothes Licht größer als für violettes; das rothe Ende des Spectrums iſt daher den tiefſten, das Violette den höchſten Tönen analog. Nach Herſchel variirt die Anzahl der Schwingungen in 1 Secunde vom äußerſten Roth bis zum äußerſten Violett von 458 bis 727 Billionen, ein Intervall, das bedeutend weniger als eine Octave beträgt.

302. Wir haben bisher, der Einfachheit des Falles wegen, ſtets angenommen, daß die Lichtſtrahlen die beugenden Oeffnungen ſenkrecht treffen. Ohne Schwierigkeit läßt ſich die Betrachtung auch auf den Fall ausdehnen, wenn die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen mit dem Schirme einen ſchiefen Winkel machen. Man hat bloß den Umſtand zu beachten, daß die in der Ebene der Oeffnungen vorhandenen Aethertheilchen in demſelben Augenblicke in verſchiedenen, von der Schiefe der Strahlen abhängenden Phaſen ſich befinden. Die Theorie der Beugung durch Gitter mit Reihen von Oeffnungen, deren Geſtalten und Anordnung welche immer ſeyn mag, läßt ſich auf dem Wege der Undulationstheorie nicht weniger genügend entwickeln, als die oben betrachteten einfachen Fälle; jedoch iſt hiezu eine bloß populäre Vorgangsweiſe nicht hinreichend, ſondern man muß die Rechnung zu Hilfe rufen. Dieſe gibt Reſultate, die nicht bloß mit der Erfahrung auf das Genaueſte harmoniren, ſondern auch auf Einzelnheiten der Phänomene aufmerkſam machen, die ſonſt leicht überſehen würden. Eine vollſtändige und ſorgfältige Behandlung dieſes Gegenſtandes findet man in dem, auch treffliche Winke zur leichten Anſtellung der Verſuche enthaltenden Werke: Die Beugungserſcheinungen aus den Fundamentalgeſetzen der Undulations-Theorie analytiſch entwickelt und in Bildern dargeſtellt von F. M. Schwerd. Mannheim, 1835.

303. Die Theorie der Beugung des Lichtes am Rande eines undurchſichtigen Schirmes, oder an beiden Rändern eines ſchmalen Körpers gründet ſich auf die Wirkung eines Wellenſtückes, das ſich nach einer Seite ins Unbeſtimmte ausbreitet und nur nach der andern Seite begrenzt iſt, auf einen Punct. Folgende Betrachtungen mögen hin-

reichen, zu zeigen, wie dieſe Beugungsphänomene aus der unduliren-den Bewegung des Aethers entſpringen, in ſo weit es möglich iſt, davon ohne Anwendung der mathematiſchen Analyſe einen Begriff zu geben. Es ſey A B, Fig. 316, ein normaler Durchſchnitt eines Wellenſtückes, das von einem homogenes Licht gebenden Puncte oder von einer Linie ausgeſendet wird, und von deſſen Krümmung wir abſtrahiren, A C die Normale zum Puncte A nach der Richtung des Fortſchreitens der Welle gezogen, P ein in bedeutender Diſtanz von A angenommener Punct, der ſich jenſeits der A C befinde. Man theile A B in Theile A a, a b, b c, c d, d e u. ſ. w., ſo daß der Unterſchied der Entfernungen der Grenzpuncte eines jeden von P die Hälfte der Wellenlänge des Lichtes beträgt, mithin $aP - AP = \frac{1}{2} L$, $bP - aP = \frac{1}{2} L$, $cP - bP = \frac{1}{2} L$ u. ſ. w. iſt. Die Elementarſtrahlen, welche von den Puncten A, b, d, ... ausgehen, bringen, indem ſie in P zuſammentreffen, übereinſtimmende Phaſen dahin; die von den Puncten a, c, e, ... herrührenden Phaſen aber ſind erſteren gerade entgegengeſetzt. Dasſelbe gilt von ähnlich liegenden Puncten der Stücke A a, b c, d e, ... im Vergleiche mit a b, c d, ... Ertheilt nun die Geſammtwirkung aller Puncte des Stückes A a dem Puncte P eine gewiſſe Phaſe, ſo empfängt er in demſelben Augenblicke von dem Stücke a b eine entgegengeſetzte, aber von geringerer Energie, denn die Ausdehnung des Stückes A a iſt etwas größer als die des Stückes a b, und erſteres iſt auch dem Puncte P etwas näher als letzteres. Dasſelbe gilt von dem Effecte des Stückes b c im Vergleiche mit dem gleichzeitigen von a b u. ſ. w. Nennen wir nun die Vibrationsintenſitäten des Punctes P, in Folge der gleichzeitigen Geſammtwirkung der Stücke A a, a b, b c, c d, d e ... auf ihn, der Reihe nach α, β, γ, δ, ε, ... ſo iſt, wenn I die reſultirende Intenſität der Schwingung von P vorſtellt:

$$I = \alpha - \beta + \gamma - \delta + \varepsilon - \ldots$$

wobei α, β, γ, δ, ε, ... eine abnehmende Reihe bilden, deren Glieder zuletzt ganz unmerklich werden. Auch lehrt die Rechnung, daß, wenn P anfänglich in C, und ſodann nach der auf A C ſenkrechten Richtung C z ſich von A C entfernend gedacht wird (wobei zugleich die Puncte a, b, c, ... ſich entſprechend verſchieben), der Werth von I ununterbrochen fort abnimmt, ein Reſultat, welches übrigens aus der Natur der Sache ſich vorausſehen läßt. Alles Geſagte beſteht auch noch, wenn man die von andern Durchſchnitten der Welle A B nach P geſendeten Elementarſtrahlen in die Betrachtung aufnimmt. Iſt daher A H ein Schirm, der bloß das Wellenſtück A B vorbei läßt, mithin C z der geometriſche Schatten dieſes Schirmes, ſo nimmt die Lichtſtärke von C gegen z hin ſehr raſch ab. Iſt aber A H ein ſehr ſchmaler Körper, ſo daß das von der andern Seite deſſelben in den geometriſchen Schatten einwirkende Licht eine mit der des erſteren vergleichbare Stärke hat und der Gangunterſchied beider Lichtbündel nicht zu groß iſt; ſo interferiren ſich dieſelben nahe nach dem oben (299) für eine Doppelſpalte gefundenen Geſetze, wobei man die Rän-

der A und H näherungsweiſe wie die Spalten wirkend betrachten darf. Befindet ſich aber der Punct P dießſeits der A C, Fig. 317, ſo ziehe man von ihm zur Welle die Normale P E, und verbinde P mit A. Iſt der Unterſchied A P — E P kleiner als die Hälfte einer Wellenlänge, ſo fügt das Stück A E zu dem Effecte, den E B in P hervorbringt, etwas hinzu; iſt A P — E P größer als vorhin und kleiner als eine Wellenlänge, ſo wirkt, wenn h in E A ſo angenommen wird, daß $hP - EP = \frac{1}{2} L$ iſt, h B auf P, wie eben geſagt wurde, aber die Action von h A vermindert dieſen Effect. Liegt die Differenz A P — E P zwiſchen L und $\frac{3}{2}$ L, ſo iſt der Lichteffect in P wieder größer als im nächſt vorhergehenden Falle. Hieraus ergibt ſich die Folge, daß, wenn A H ein Schirm von bedeutender Breite iſt, die Stärke der Beleuchtung außerhalb ſeines geometriſchen Schattens in C P, durch mehrere abwechſelnd auf einander folgende Maxima und Minima geht, nämlich von C gegen P hin zuerſt wächſt, dann abnimmt, ohne jedoch bis auf Null herab zu ſinken, hierauf wieder wächſt u. ſ. w. Hiedurch ſind die Streifen erklärt, welche man am Rande des Schattens jedes breiten, von einem Puncte beleuchteten Körpers wahrnimmt. Dieſe Streifen finden ſich auch vor, wenn der Körper A H ſchmal iſt, jedoch modificirt das von H auf die andere Seite gelangende Licht dieſelben um ſo mehr, je geringer die Breite A H iſt.

Andere Phänomene, z. B. daß bei Beleuchtung eines kleinen kreisrunden Schirmes durch einen Lichtpunct die Mitte ſeines Schattens eben ſo hell iſt, als wenn der Schirm nicht da wäre u. dgl., beſtätigen die Richtigkeit der Theorie um ſo mehr, als ſie durch ſelbe vorausgeſagt und erſt hinterher durch Verſuche nachgewieſen worden ſind. Ueber die Beugung des Lichtes an den Rändern der Körper ſ. Fresnel in Pogg. Ann. 30. 100.

304. Radirt man auf ein polirtes Stahlplättchen oder auf ein mit Gold belegtes Planglas ein feines Gitter, und legt es ſo, daß das von demſelben reflectirte Licht entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr ins Auge kommt; ſo gewahrt man alle Erſcheinungen, die im directen Lichte bei demſelben Gitter bemerkt werden. Die einzelnen Farbenbilder und ihre Abſtände von der Axe ſind deſto größer, je ſchiefer das Licht einfällt.

Beugungsphänomene können auch zugleich mit einer Reflexion auftreten. Dieſes erfolgt namentlich, wenn die reflectirende Fläche einen ſchmalen Streifen bildet und die Beugung findet ſo Statt, als wenn das Licht durch eine ſchmale, dem Streifen an Ausdehnung gleiche Spalte gegangen wäre. Stellt M N (Fig. 307) dieſen Streifen vor, ſo ſind in demſelben nicht Puncte wie a, b, c, d genug vorhanden, um die Seitenbewegung der reflectirten Wellen ganz aufzuheben und es müſſen demnach Beugungsfarben eintreten.

Die Beugungsgeſetze reflectirter Strahlen ſind für die Erklärung häufig vorkommender Erſcheinungen faſt noch fruchtbarer, als jene der an den Rändern der Körper bloß vorbeigehenden. Man erklärt daraus

das lebhafte Farbenſpiel des Barton'ſchen Irisſchmuckes, ja ſelbſt das bekannte Farbenſpiel der Perlmutter; denn Brewſter überzeugte ſich, daß die Oberfläche derſelben ſehr viele, feine, regelmäßige Furchen habe, daß man dieſe iriſirende Eigenſchaft anderen weichen Subſtanzen, z. B. Siegellack, arabiſchem Gummi, Stanniolium, ſelbſt Blei mittheilen kann, indem man ein Plättchen Perlmutter darauf abdrückt; er bemerkte dieſelbe Lichterſcheinung auch an der Oberfläche einer ſtark eingekochten Gallerte aus Kalbsfüßen. Zu dieſen Erſcheinungen gehöct auch das Farbenſpiel der Flügeldecken einiger Inſecten, das Schillern abgeſtandener Gläſer, vieler Färbeſtoffe, z. B. des trockenen Waides, die Lichtſtreifen an dem Bilde einer Kerzenflamme in manchem Planſpiegel ꝛc.

305. Die hier nach den Principien der Undulationstheorie vorgetragene Erklärung der Erſcheinungen der Beugung des Lichtes läßt uns nun auch einſehen, was es mit der ſogenannten geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes für eine Bewandtniß habe. Im Allgemeinen findet ſie, wie die Beugungsphänomene lehren, nicht Statt; denn der durch eine enge Spalte hindurch von einem Puncte beleuchtete Raum iſt größer, als er dieſer Fortpflanzungsweiſe des Lichtes gemäß ſeyn ſollte, und die Durchſchnittspuncte der Streifen einer gewiſſen Ordnung mit einer auf die Spalte ſenkrechten Ebene liegen, weil die Differenz ihrer Abſtände von den Rändern der Oeffnung conſtant bleibt, in einer Hyperbel, deren Brennpuncte in dieſen Rändern ihren Sitz haben. Wo die geradlinige Lichtfortpflanzung Statt hat, geht ſie aus dem Umſtande hervor, daß ſich alles Seitenlicht durch Interferenz zerſtört. Je weiter man eine Spalte öffnet, die das von einem Puncte ausfahrende Licht theilweiſe aufhält, deſto mehr rücken die Beugungsſpectra, deren äußerſte eine verſchwindende Intenſität haben, an einander, und ſämmtliche Spectra werden bei zu großer Oeffnung endlich unmerklich. Hindert man einen Theil der einander aufhebenden Strahlen zu den übrigen zu kommen, ſo bleiben dieſe wirkſam, ein Umſtand, der den Zuſammenhang zwiſchen Beugung und geradliniger Fortpflanzung des Lichtes klar darlegt.

Aus den angeführten Beugungsgeſetzen erklären ſich mehrere Erſcheinungen. z. B. die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, durch enge gewebtes Zeug oder durch ein mit Hexenmehl beſtreutes Glas auf einen nicht zu nahen, ſtark beleuchteten Punct ſieht; das Farbenſpiel an den feinen Haaren der Hüte, wenn man durch ſie nach der Sonne blickt; die Farbenringe um den dunklen Mondeskörper bei totalen Mondesfinſterniſſen; die dunklen Streifen, welche man zwiſchen den eng an einander geſchloſſenen geſtreckten Fingern ſieht ꝛc.

Siebentes Kapitel.

Doppelte Brechung des Lichtes.

306. Im ſiebzehnten Jahrhundert entdeckte Bartholin in Kopenhagen an einem Kryſtall von kohlenſaurem Kalk oder Kalkſpath, der wegen ſeines häufigen Vorkommens in Island isländiſcher Kryſtall genannt wird, die merkwürdige Eigenſchaft, Gegenſtände, welche durch ihn angeſehen werden, doppelt zu zeigen. Man heißt ihn daher und wegen ſeines blättrigen Gefüges auch isländiſchen Doppelſpath. Bartholin überzeugte ſich bald, daß dieſe Erſcheinung durch eine eigenthümliche Einwirkung des Kryſtalles auf das Licht hervorgebracht werde, und ſuchte die Geſetze derſelben näher zu beſtimmen. Es war aber erſt Huyghens vorbehalten, dieſe Geſetze ſo genau darzuſtellen, daß ſelbſt Wollaſton, Malus, Biot und Fresnel mit allen Hilfsmitteln, die ihnen ihr Genius und die Fortſchritte der Wiſſenſchaft darboten, nur Kleinigkeiten daran zu berichtigen vermochten. Wenn auch, wie neueſtens Mac. Cullagh (Phil. Mag, B. 21. 407) gefunden haben will, Abweichungen von Huyghen's Annahmen Statt finden, ſo können ſie doch nur ſehr gering ſeyn.

Der Doppelſpath erſcheint gewöhnlich als eine von ſechs rhomboidalen Flächen begrenzte Theilgeſtalt. Da ſein Blätterdurchgang mit ſeinen Flächen parallel iſt, ſo läßt ſich durch zweckmäßiges Spalten ein Rhomboeder (Fig. 318) daraus gewinnen, welches demnach ſeine Kerngeſtalt iſt. An dieſer Geſtalt kommen zwei einander entgegengeſetzte Ecken A und B vor, deren jede von drei gleichen, ſtumpfen Winkeln gebildet wird, deren Ebenen gegen einander gleich geneigt ſind; an jeder der ſechs übrigen Ecken finden ſich ein ſtumpfer und zwei einander gleiche ſpitzige ebene Winkel und bloß zwei der drei Kantenwinkel ſind gleich. Wir wollen erſtere Ecken die ſtumpfen, die andern die ſpitzigen nennen. Die Linie AB, welche mit den drei Kanten der ſtumpfen Ecke gleiche Winkel macht, iſt die Axe des Körperwinkels A. Sie fällt mit der durch die ſtumpfen Ecken des Rhomboeders gehenden Diagonale, welche die kryſtallographiſche Hauptaxe dieſer Geſtalt iſt, zuſammen. Die Axen aller rhomboedriſchen Theilungsgeſtalten, welche man ſich in einem Doppelſpathſtücke denken mag, ſind einander parallel; jede derſelben ſtellt ſich auch in optiſcher Hinſicht als eine Hauptlinie dar und wird Axe der doppelten Brechung genannt. Demnach entſpricht jedem Puncte eines Doppelſpahtſtückes eine ſolche Axe. Eine Ebene, welche der gemeinſchaftlichen Richtung der Axen parallel iſt und auf einer (natürlichen oder künſtlichen) ein Doppelſpathſtück begrenzenden Fläche normal ſteht, heißt ein Hauptſchnitt. Dieſer Begriff findet auch bei andern durchſichtigen Körpern Anwendung, denen eine Axe der doppelten Brechung zukommt.

307. Wenn man ein Papier mit einer kleinen Oeffnung verſieht, und es auf eine Fläche des Doppelſpathes legt, dann durch die Oeff-

nung einen Lichtſtrahl leitet; ſo bemerkt man, daß derſelbe im Kryſtalle in zwei Bündel getheilt werde, d. h. die doppelte Brechung erleide. Noch beſſer ſieht man dieſes mit einem dreiſeitigen Prisma aus Doppelſpath, das zugleich ein zweifaches Farbenbild gibt. Eine genaue Betrachtung des Ganges der beiden Strahlen, welche aus einem nach verſchiedenen Richtungen auf den Doppelſpath fallenden Lichtſtrahle entſpringen, lehrt, daß einer derſelben ſich nach den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen richte, und daß der Sinus ſeines Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ſich verhalte wie 1.6543 zu 1, oder wie 1 zu 0.6045, während der zweite andere Brechungsgeſetze befolgt. Deßhalb heißt erſterer der gewöhnlich gebrochene, wohl auch ſchlechtweg der gewöhnliche oder ordentliche, letzterer der ungewöhnlich gebrochene, ungewöhnliche oder außerordentliche Strahl.

Um die Geſetze der doppelten Brechung in dieſem Körper zu unterſuchen, empfiehlt Malus ein rechtwinkliges, auf Papier oder Elfenbein verzeichnetes Dreieck ABC (Fig. 319), deſſen Seite BC viel kleiner iſt als AC. Sieht man dieſes durch einen Doppelſpath an, ſo erſcheint es doppelt, und es wird das ungewöhnliche Bild A′C′ der Seite AC die Hypothenuſe AB in D′ ſchneiden. Nimmt man nun AD = A′D′, ſo iſt klar, daß ein Strahl von D und einer von D′ beim Ausfahren aus dem Kryſtalle in die Luft ſich zu einem einzigen Strahle vereinigen; deßhalb müßte aber auch ein Strahl, der vom Auge auf den Kryſtall fiele, in zwei Bündel zerlegt werden, wovon eines nach D′, das andere nach D ginge. Da nun die Lage von D gegen D′, die Dicke des Kryſtalles und die Lage von AC gegen den Hauptſchnitt gegeben iſt; ſo braucht man nur noch den Einfallspunct I des Strahles und ſeine Neigung gegen MN zu wiſſen, um den Erfolg der Brechung genau angeben zu können.

308. Durch zweckmäßig eingeleitete Beobachtungen überzeugt man ſich, daß die ungewöhnliche Brechung des Lichtes im Doppelſpathe nach folgenden Geſetzen vor ſich gehe: 1) Fällt ein Lichtſtrahl ſenkrecht auf eine Theilungsfläche des Doppelſpathes, wobei der gewöhnlich gebrochene Theil deſſelben in unveränderter Richtung fortgeht; ſo wird der ungewöhnlich gebrochene um den Winkel von 6° 12′ 38″ gegen den ſpitzigen Winkel des Rhomboeders abgelenkt und liegt in dem durch den Einfallspunct geführten Hauptſchnitte. 2) Fällt ein Strahl ſchief ein, ſo iſt der Erfolg der Brechung verſchieden, je nachdem die Einfallsebene die Lage eines Hauptſchnittes hat oder nicht. Liegt die Einfallsebene in einem Hauptſchnitte, ſo bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl in dieſer Ebene, allein der Sinus des Einfallswinkels ſteht zum Sinus des Brechungswinkels in keinem conſtanten Verhältniſſe, ſondern dieſes Verhältniß ändert ſich mit dem Einfallswinkel. Iſt aber die Einfallsebene gegen den Hauptſchnitt geneigt, ſo iſt nicht bloß das Verhältniß zwiſchen dem Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels nach Maßgabe des Einfallswinkels veränderlich, ſondern es tritt der ungewöhnliche Strahl überdieß noch aus der Einfallsebene heraus und wird gleichſam vom Hauptſchnitte weggetrieben, und zwar deſto mehr, je mehr ſich der Winkel, den die Ein-

fallsebene des Strahles mit dem Hauptſchnitte macht, einem rechten nähert. Iſt dieſer Winkel ein rechter, ſo bekommt dieſe Ablenkung vom Hauptſchnitte ihren größten Werth. Dieſe Geſetze gelten, die Fläche des Doppelſpathes, welche das einfallende Licht trifft, mag eine natürliche Theilungsfläche oder eine durch Anſchleifen des Kryſtalles erzeugte ſeyn, nur bei ſolchen künſtlich erzeugten Flächen, die auf der Axe des Kryſtalles ſenkrecht ſtehen oder mit ihr parallel ſind, erfolgt eine Ausnahme. 3) Schleift man vom Kryſtalle ſolche Stücke weg, daß auf der Axe des Kryſtalles ſenkrechte Ebenen entſtehen, ſo wird ein Strahl, der ſenkrecht darauf fällt, weder in zwei Bündel geſpalten noch überhaupt gebrochen; ſchief einfallende Strahlen erleiden zwar eine doppelte Brechung, da aber hier jede Einfallsebene eine Hauptſchnittsebene iſt, ſo bleibt der ungewöhnlich gebrochene Strahl ſtets in derſelben. 4) Iſt die künſtlich erzeugte Fläche des Doppelſpathes, auf die der Strahl fällt, der Axe des Kryſtalles parallel und macht die Einfallsebene mit der Axe einen rechten Winkel; ſo gehorcht auch der ſonſt ungewöhnlich gebrochene Strahl den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen; er bleibt nicht nur in der Einfallsebene, ſondern es verhält ſich auch der Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels ſtets wie 1.4833 zu 1 oder wie 1 zu 0.6742. Dieſes Verhältniß meint man, wenn von dem Brechungsverhältniſſe des ungewöhnlichen Strahles im Doppelſpathe die Rede iſt. Es gibt mit dem des gewöhnlichen Strahles verglichen das Verhältniß 1.6543 : 1.4833 und dieſes in ein reciprokes verwandelt 0.6045 : 0.6742; von letzterem wird ſpäter Gebrauch gemacht werden.

309. Die Beſonderheiten der Brechung des Lichtes im Doppelſpathe laſſen ſich aus der Undulationstheorie vollſtändig erklären. Es gehört nämlich der Doppelſpath zu den Kryſtallen, welche zwar nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Elaſticität zeigen, aber deren Theilchen, und dieſen gemäß auch die Theilchen des Aethers, doch ſo angeordnet ſind, daß längs allen auf eine Axe, die mit der vorgenannten optiſchen Axe übereinſtimmt, ſenkrechten Richtungen einerlei Fortpflanzungsgeſchwindigkeit gleichartiger Schwingungsweiſen obwaltet. Solcher Schwingungsweiſen kommen hier zweierlei in Betrachtung, deren jeder eine eigene Wellenfläche entſpricht. Die eine iſt eine Kugelfläche; die andere aber ein mit dieſer concentriſches Rotationsellipſoid, deſſen Rotationsaxe die Lage der optiſchen Axe des Doppelſpathes hat, die kleinere Axe der erzeugenden Ellipſe iſt und mit dem Durchmeſſer der correſpondirenden Kugelwelle übereinſtimmt, ſo daß die Kugel das Ellipſoid an den Endpuncten der Rotationsaxe berührt. Trifft nun eine Folge von Aetherwellen die Fläche eines Doppelſpathes, ſo gehen von allen Puncten dieſer Fläche als Mittelpuncten ſowohl kugelförmige, als ellipſoidiſche Wellen in das Innere des Doppelſpathes. Die erſteren, deren Fortpflanzungsgeſchwindigkeit ſich zu jener der Aetherwellen in der Luft verhält wie 0.6045 : 1, begründen das gewöhnlich gebrochene Licht; die andern, deren Fortpflanzungsgeſchwindigkeit im Sinne der optiſchen Axe die vorgenannte

iſt, ſenkrecht darauf aber ſich zur Geſchwindigkeit des Lichtes in der Luft wie 0.6742 : 1 verhält, begründen das ungewöhnlich gebrochene Licht. Um den Gang des letzteren zu finden, haben wir bloß die in 252 gewieſene Methode gehörig zu generaliſiren.

310. Man kann die Richtung des gebrochenen Strahles in einem Doppelſpath und zwar ſowohl die des gewöhnlichen als die des ungewöhnlich gebrochenen durch eine geometriſche Conſtruction finden. Die des gewöhnlichen Strahls wird nach dem in 252 angeführten Verfahren gefunden, beim ungewöhnlichen Strahl hingegen iſt die Conſtruction verſchieden, je nachdem die Einfallsebene des Strahles zugleich eine Hauptſchnittsebene des Kryſtalls iſt oder nicht. Wir wollen zuerſt annehmen, daß die Einfallsebene des Strahles AB (Fig. 320 zugleich eine Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes ſey, d. i. die Axe Bz deſſelben in ſich enthalte. Man beſchreibe in dieſer Ebene aus B als Mittelpunct mit einem beliebigen Halbmeſſer BF, wie in 252 einen Halbkreis, zugleich conſtruire man eine Ellipſe, deren Mittelpunct B iſt, deren eine Hauptaxe in die Bz, mithin deren andere Hauptaxe in die auf Bz ſenkrechte Bx fällt, und nehme die Dimenſionen derſelben nach dem reciproken Brechungsverhältniſſe des ungetheilten und zweifachen Strahles, nämlich ſo, daß wenn BU, BV die Hälften dieſer Axen ſind, die Proportion

$$BU : BV : BF = 0.6045 : 0.6742 : 1$$

Statt findet. Iſt nun AB die Richtung eines einfallenden Lichtſtrahles, ſo verlängere man dieſelbe, bis ſie den Halbkreis in H ſchneidet, ziehe zu H die Tangente HK, und von dem Durchſchnittspuncte K der letzteren mit der verlängerten BF zur Ellipſe die Tangente KL. Die Gerade BLE, welche durch B und den Berührungspunct L dieſer Tangente geht, iſt die Richtung des zum einfallenden Strahle AB gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahles. Man erhält ſogleich auch die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles, wenn man aus B mit dem Halbmeſſer BU in Folge des in 252 angegebenen Verfahrens einen Halbkreis beſchreibt und aus K zu ihm eine Tangente führt. Der Berührungspunct L′ derſelben beſtimmt die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles.

Stimmt die Einfallsebene des Strahles AB (Fig. 321) nicht mit einer Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes überein, ſo befindet ſich die Axe der doppelten Brechung Bz außerhalb der Einfallsebene. In dieſem Falle beſchreibe man wie früher in der Einfallsebene mit einem beliebigen Halbmeſſer BF einen Halbkreis, und in einer willkürlichen durch die Axe Bz gelegten Ebene die vorhin erwähnte Ellipſe mit denſelben Abmeſſungen wie vorher. Stellt man ſich jetzt vor, dieſe Ellipſe drehe ſich um die feſte Linie Bz, ſo entſteht ein Rotationsellipſoid, deſſen kleine Axe eben die Linie Bz iſt. Hat man nun für den einfallenden Strahl AB durch den Punct H, in dem ſeine Verlängerung den Halbkreis trifft, die Tangente HK gezogen, und den Durchſchnittspunct derſelben mit der Fläche des Doppelſpathes beſtimmt; ſo ziehe man durch dieſen Punct K die auf die Ein-

fallsebene ſenkrechte Gerade KR, und lege durch KR zu dem Ellipſoide eine tangirende Ebene. Der (nicht in der Ebene des Papiers liegende) Punct L, in welchem die Berührung Statt findet, befindet ſich in dem zu AB gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahle, wodurch die Richtung BLE deſſelben bekannt iſt. Beſchreibt man mit dem Halbmeſſer BF eine Halbkugel, ſo iſt KR die Durchſchnittslinie der zu H gelegten Berührungsebene der Halbkugel mit der Doppelſpathfläche, die vom Strahle AB getroffen wird, welche Bemerkung auch dienen kann, die Lage von KR zu finden. Dieſe allgemeine Conſtruction enthält, wie man leicht ſieht, diejenige, welche dem in einer Hauptſchnittsebene einfallenden Lichte entſpricht, als beſondern Fall in ſich. Aus ihr folgt auch die in 308. 4 angeführte Eigenthümlichkeit der ungewöhnlichen Brechung des Lichtes im Doppelſpathe. Steht nämlich die Einfallsebene auf der Richtung der Axe der doppelten Brechung ſenkrecht, ſo wird das Ellipſoid von ihr in einem Kreiſe geſchnitten, deſſen Halbmeſſer der größeren Halbaxe der das Ellipſoid erzeugenden Ellipſe gleich kommt, und der die Lage des ungewöhnlich gebrochenen Strahles beſtimmende Berührungspunct befindet ſich ſtets in der Einfallsebene. Daher ſtimmt hier die ungewöhnliche Brechung mit der gewöhnlichen überein, nur iſt der Brechungsexponent dem reciproken Werthe der größeren Halbaxe der Ellipſe gleich.

311. Aus den Geſetzen der ungewöhnlichen Brechung läßt ſich von allen Erſcheinungen am Doppelſpathe auf das Genaueſte der Grund angeben. Iſt z. B. ABDC (Fig. 322) ein Hauptſchnitt des Kryſtalles, S ein leuchtender Punct, ſo wird unter den Strahlen, die er auf CD ſendet, einer ſeyn, deſſen gewöhnlich gebrochener Theil FG das Auge O trifft, während ſein ungewöhnlich gebrochener Antheil Fgx für dasſelbe verloren geht; dafür wird es aber einen andern Strahl SH geben, deſſen ungewöhnlich gebrochener Theil HI nach O gelangt, deſſen ordentlich gebrochener Hiy aber ſeitwärts vorbeigeht. Das Auge ſieht daher den Punct S zweimal und zwar in den Verlängerungen von OG und OI. Das durch den ordentlich gebrochenen Strahl entſtandene Bild wird von D weiter entfernt ſcheinen, als das vom ungewöhnlich gebrochenen gemachte, weil ſich die Strahlen in K kreuzen. Aus dieſer Durchkreuzung erklärt ſich auch folgende Erſcheinung: Halt man einen isländiſchen Kryſtall ſehr nahe ans Auge und ſieht damit auf einen Punct ſo, daß man ihn doppelt wahrnimmt, fährt dann mit einem Stückchen Papier längs der untern Fläche hin; ſo wird derjenige Punct zuerſt verdeckt erſcheinen, der vom Papier am weiteſten abſteht. Auf gleiche Weiſe erklärt man, warum eine mit dem Hauptſchnitte parallele Linie einfach geſehen werden kann; warum ſich ihr außerordentliches Bild vom ordentlichen entfernt, wenn man den Kryſtall aus dieſer Lage um eine, auf die geſehene Linie ſenkrechte Axe dreht; warum überhaupt bei dieſem Drehen das außerordentliche Bild ſich um das ordentliche bewegt und dgl. m.

Setzt man zwei gleiche dreiſeitige Prismen A B C und B D C (Fig. 323) aus Doppelſpath zuſammen, die ſo geſchnitten ſind, daß die Brechungsaxe im erſten auf A B ſenkrecht iſt, im zweiten hingegen mit der Kante C parallel läuft; ſo wird ein Lichtſtrahl S F, der ſenkrecht auf A B fällt, im erſten Prisma weder geſpalten, noch überhaupt von ſeinem Wege abgelenkt. So wie er aber G trifft, wird ein Theil davon gerade nach H fortgehen, der andere hingegen die ungewöhnliche Brechung erleiden und die Richtung G I K annehmen. Befindet ſich nun in H das Auge, ſo bekommt es nur den Theil G H des Lichtſtrahles S F, dafür erhält es aber von einem andern Strahle S′ F′ den ungewöhnlich gebrochenen Antheil G′ I′ H. Wenn auch beide Strahlen von demſelben Puncte ausgegangen ſind, ſo ſieht doch das Auge zwei Bilder, und zwar eines nach H S, das andere nach H S″. Dieſe zwei Bilder ſtehen bei übrigens gleichen Umſtänden deſto mehr von einander ab, je näher ſich das Auge am Prisma befindet; bei einer beſtimmten Entfernung des Auges vom Prisma werden ſie ſich am Rande berühren. Dieſe Zuſammenſetzung machte zuerſt Rochon und benützte ſie zu einem Mikrometer für Fernröhre. Wird nämlich ein auf die beſchriebene Weiſe verfertigtes Prisma zwiſchen dem Objectiv eines Fernrohres und ſeinem Brennpuncte angebracht, ſo ſieht man das Object doppelt, und die beiden Bilder ſtehen deſto weiter von einander ab, je weiter das Mikrometerprisma von dem durch das Objectiv gemachten Bilde entfernt iſt; bei einem beſtimmten Stande des Prisma's werden ſich aber beide Bilder am Rande berühren, und dieſer Ort wird deſto mehr von den Bildern entfernt ſeyn, je größer dieſelben ſind. Daher wird man daraus auf die ſcheinbare, und mittelſt bekannter Entfernung des Objectes auf die wirkliche Größe des Objectes ſchließen können.

312. Was hier vom Kalkſpathe gelehrt wurde, iſt mit den ſogleich näher zu bezeichnenden Abänderungen auf das Verhalten des Lichtes in allen zu dem rhomboedriſchen und pyramidalen Syſteme gehörenden kryſtalliſirten Körpern anwendbar. Alle dieſe Körper brechen nämlich das Licht doppelt, einer der gebrochenen Strahlen gehorcht dem gewöhnlichen Brechungsgeſetze, die Brechung des andern weicht davon ab, aber die Richtung desſelben wird ganz nach der in 310 gewieſenen Conſtruction gefunden, nur die nummeriſchen Werthe der Brechungsexponenten oder die Dimenſionen der Ellipſe, durch deren Rotation das die Richtung des ungewöhnlichen Strahles beſtimmende Ellipſoid entſteht, variiren mit der materiellen Beſchaffenheit des Kryſtalles, und da zerfallen alle derlei Körper in zwei Klaſſen. Bei der einen, als deren Repräſentant der Doppelſpath gelten kann, iſt der Brechungsexponent für die ungewöhnliche Brechung bei Strahlen, welche gegen die Brechungsaxe, die hier zugleich die Kryſtallaxe iſt, geneigt einfallen, kleiner als jener für die gewöhnliche Brechung, es wird daher der ungewöhnlich gebrochene Strahl von der Axe gleichſam weggetrieben, abgeſtoßen. Bei Körpern der andern Klaſſe, zu denen der Bergkryſtall gehört, iſt für die gegen die Axe geneigten Strahlen der Brechungsexponent des ungewöhnlich gebrochenen Strahles größer als jener des gewöhnlich gebrochenen, und der ungewöhnlich gebrochene Strahl wird zur Axe hingetrieben, angezogen. Man nennt darum die in die erſte Klaſſe gehörenden Körper abſtoßende,

die in die zweite fallenden anziehende. Weil man ſich aber auch vorſtellen kann, es beſtehe der Brechungsinder für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl bei erſteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlich gebrochenen Strahl weniger einem mit der Neigung der Strahlen gegen die Are veränderlichen Antheil, bei letzteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlichen Strahl mehr einem veränderlichen Antheile; ſo heißt man jene auch negative, dieſe poſitive. Das Ellipſoid, welches man braucht, um durch geometriſche Conſtruction die Lage des ungewöhnlich gebrochenen Strahles zu finden, hat bei den abſtoßenden Kryſtallen die kleinere, bei den anziehenden die größere Are zur Rotationsare; das Verhältniß dieſer Aren wird durch den reciproken Werth der Brechungsverhältniſſe des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahles beſtimmt, wie in 310 gezeigt worden. Uebrigens iſt das Verhältniß der zwei Brechungserponenten für die beiden, durch doppelte Brechung geſonderten Strahlenbüſchel, mithin auch die doppelt brechende Kraft nicht beſtändig, ſondern hängt von der Temperatur ab, und wird (nach Rudberg) kleiner, wenn die Temperatur ſteigt. (Brewſter in Gilb. Ann. 69. 1; Biot ebend. 65. 1; Rudberg in Pogg. Ann. 26. 291.)

Bei dem Doppelſpathe iſt die Are gegen die natürlichen Flächen des Kryſtalles ſtark geneigt und die doppelte Brechung an und für ſich ſehr ſtark, darum bemerkt man ſie ſo leicht; bei den meiſten andern doppelt brechenden Körpern hat die Brechungsare eine zu den natürlichen Flächen parallele Lage, darum erleiden die auf ſolche Flächen ſenkrecht einfallenden Strahlen keine doppelte Brechung, ja ſelbſt ſchief einfallende werden in zwei ſo wenig divergirende Lichtbüſchel getheilt, daß ſich bei der meiſtens nur geringen Dicke der Kryſtalle die beiden durch doppelte Brechung entſtandenen Bilder faſt decken und als Ein Bild erſcheinen. Darum muß man ſolchen Kryſtallen, um ihre doppelte Brechung deutlich zu erkennen, künſtliche, gegen die Are der doppelten Brechung geneigte Flächen geben. So bemerkt man am Bergkryſtalle, der als Combination eines ſechsſeitigen Prisma's und einer ſechsſeitigen Pyramide erſcheint (Fig. 324), keine Spur einer doppelten Brechung, wenn man einen Gegenſtand durch c d m n und g h r y anſieht. Schleift man aber g h r y ſo weg, daß eine mit c b d parallele Fläche entſteht, ſo erſcheint das Phänomen einer doppelten Brechung recht deutlich. An kleinen Stücken vieler doppelt brechenden Kryſtalle erkennt man ſelbſt dann, wenn ſie zweckmäßig geſchnitten ſind, das Phänomen der doppelten Brechung nur aus der Verdoppelung einer dadurch angeſehenen, ſcharfen Nadelſpitze, und auch dieß nur wenn man ſich eines Fernrohres bedient.

313. Im Sinne der Vibrationshypotheſe iſt eine ſtärkere Brechung das Reſultat einer geringeren Geſchwindigkeit des Lichtes. Da nun im Doppelſpathe ſo wie in jedem abſtoßenden Kryſtalle der ungewöhnliche Strahl weniger abgelenkt wird, als der gewöhnliche, ſo muß erſterer ſich mit größerer Geſchwindigkeit fortpflanzen als letzterer. Die Beſtändigkeit des Brechungserponenten beim gewöhnlichen Strahl deutet darauf hin, daß dieſer Strahl nach allen Richtungen mit einerlei Geſchwindigkeit fortſchreite und daß die Welle, welche ihr zum Grunde liegt, eine ſphäriſche Geſtalt habe. Der ungewöhnliche Strahl erleidet nach Maßgabe ſeiner Lage gegen die optiſche Are eine verſchie-

dene Brechung und er muß daher auch in verſchiedenen Richtungen gegen dieſe Axe mit verſchiedener Geſchwindigkeit fortſchreiten. Dem Vorausgegangenen zu Folge läßt ſich die Brechung dieſes Strahles mittelſt eines Ellipſoids conſtruiren und ein ſolches muß demnach auch die Geſtalt der Lichtwelle vorſtellen, die ihm zum Grunde liegt. Einem den Kryſtall rechtwinkelig gegen die Axe durchlaufenden Strahl kommt der geringſte Brechungsexponent zu; in dieſer Richtung herrſcht demnach die größte Fortpflanzungsgeſchwindigkeit und in ihr liegt die große Axe des Wellenellipſoids; auf ihr ſenkrecht, d. h. in der Axe des Kryſtalls, liegt demnach die kleine Axe deſſelben. Die Längen beider Axen verhalten ſich zu einander verkehrt wie die Brechungsexponenten nach den Richtungen dieſer Axen. Da bei anziehenden Kryſtallen der ungewöhnliche Strahl mehr abgelenkt wird als der gewöhnliche, ſo muß jener eine kleinere Geſchwindigkeit haben als dieſer, und da ferner der Brechungsexponent für einen, den Kryſtall rechtwinkelig gegen die optiſche Axe durchfahrenden Strahl den größten, für einen parallel mit der Axe gehenden, den kleinſten Werth hat, ſo muß in einem ſolchen Körper die Lichtgeſchwindigkeit längs der Axe am größten, ſenkrecht darauf am kleinſten ſeyn. Aus dem Vorgange bei der Brechung iſt auch leicht zu erſehen, daß bei einem abſtoßenden Kryſtall längs der kleineren Axe des Wellenellipſoids, bei einem anziehenden längs der größeren Axe deſſelben der gewöhnliche und der ungewöhnliche Strahl einerlei Geſchwindigkeit haben, und es müſſen demnach in einem abſtoßenden Kryſtall die Wellenſphäre und das Wellellipſoid an den Endpuncten der kleinen Axe, in einem anziehenden an den Endpuncten der großen Axe des Ellipſoides ſich berühren. Indeß gibt es auch Fälle, wo ſich dieſe zwei Wellen gar nicht berühren. Von der Art iſt der Hergang im Bergkryſtall; bei dieſem iſt der Durchmeſſer der ſphäriſchen Welle größer als die Rotationsaxe des demſelben entſprechenden Wellenellipſoides. Daraus folgt, daß hier ſelbſt parallel mit der optiſchen Axe fortgepflanztes Licht aus zwei Theilen zuſammengeſetzt iſt, die zwar in der Richtung zuſammenfallen, aber wovon einer ſchneller fortſchreitet als der andere, wie ſpäter gezeigt werden wird.

Stellt in Fig. 325. a der Kreis den Durchſchnitt der ſphäriſchen, die Ellipſe jenen der ellipſoidiſchen Lichtwelle in einem abſtoßenden Kryſtalle vor, ſo bezeichnen die Halbmeſſer ca, cd, cf das Geſetz der Geſchwindigkeit des ungewöhnlichen Strahles und ihres Verhältniſſes zu jener des gewöhnlichen nach den Richtungen dieſer Linien, d. h. ca nach der Richtung der optiſchen Axe, cd nach einer darauf ſenkrechten Richtung und cf nach jener, die mit der Axe den Winkel acg einſchließt. Daſſelbe gilt von der Zeichnung Fig. 325 b in Betreff eines anziehenden Kryſtalles. Gleiche Buchſtaben bedeuten in beiden Figuren daſſelbe.

314. Als Grund der ungleichen Geſchwindigkeit des Lichtes nach verſchiedenen Richtungen gegen die optiſche Axe eines doppelt brechenden Kryſtalles wird im Sinne der Vibrationshypotheſe und in Uebereinſtimmung mit der Theorie der vibrirenden Bewegung angenommen, daß der Aether in einem doppelt brechenden Mittel nicht nach allen Richtungen dieſelbe Elaſticität beſitze. Der Theorie zu Folge pflanzt

ſich eine Vibration deſto ſchneller fort, je größer die Elaſticität des Aethers in der Richtung der Vibration iſt. Da nun in den Lichtwellen die Vibrationen ſenkrecht ſtehen auf der Fortpflanzungsrichtung, d. h. auf dem betreffenden Lichtſtrahl; ſo ſchreitet ein ſolcher Strahl nach jener Richtung am ſchnellſten fort, welche auf der Richtung der größten Elaſticität des Aethers ſenkrecht ſteht. Kennt man demnach das Verhältniß der Geſchwindigkeiten des Lichtes nach verſchiedenen Richtungen, ſo kann man daraus das Geſetz der Elaſticität des Aethers nach dieſen Richtungen entnehmen und eines ſo wie das andere conſtruiren. Eine krumme Fläche, deren Durchmeſſer das Elaſticitätsgeſetz darſtellen, heißt die Elaſticitätsoberfläche und iſt wohl von der Oberfläche der Lichtwelle ſelbſt zu unterſcheiden. In einem abſtoßenden Kryſtall iſt die Geſchwindigkeit des Lichtes in der Richtung der optiſchen Axe am kleinſten, mithin die Elaſticität des Aethers in allen darauf ſenkrechten Richtungen im Minimum; das umgekehrte findet in einem anziehenden Kryſtall Statt, in beiderlei Mitteln iſt aber die Elaſticität des Aethers nach allen auf der optiſchen Axe ſenkrechten Richtungen, aber auch nur nach dieſen, dieſelbe. Um nun den Phänomenen der doppelten Brechung vollkommen zu genügen, muß angenommen werden, daß ſich in einem doppelt brechenden Mittel nur zweierlei Vibrationen fortpflanzen können, ſolche, die ſenkrecht auf der optiſchen Axe vor ſich gehen und andere, welche in einer darauf ſenkrechten Ebene, alſo im Hauptſchnitte Statt finden. Erſtere begründen den gewöhnlichen Strahl, da dieſe nach allen Richtungen gleiche Elaſticitäten in Anſpruch nehmen, letztere hingegen erzeugen den ungewöhnlichen Strahl, der nach verſchiedenen Richtungen gegen die Axe verſchiedene Elaſticitäten weckt und ſich darum auch nach verſchiedenen Richtungen ungleich ſchnell fortpflanzt. Alle Geſetze der doppelten Brechung laſſen ſich nach dieſer Anſicht analytiſch entwickeln.

315. Da Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze eines durchſichtigen Mediums auf einerlei Grunde, nämlich auf der Erſchütterung der Grenztheilchen des Aethers beruhen, von welchen als Mittelpuncten neue Wellen ſowohl in das eine, wie in das andere Medium ausgehen; ſo iſt klar, daß ein im Doppelſpathe fortgepflanzter, an die Begrenzung deſſelben gelangender Lichtſtrahl im Allgemeinen zwei verſchiedene Wellenreihen und ſomit auch zwei reflectirte Strahlen liefern müſſe. Bezeichnet man nach einem willkürlichen Maßſtabe die dem Einfallspuncte als Mittelpuncte entſprechende kugelförmige und die dazu gehörende ellipſoidiſche Wellenfläche, ſo kann man, wenn der einfallende Strahl A B (Fig. 326) nicht ein durch ordentliche Brechung entſtandener iſt, den ihm zugehörigen ordentlichen Strahl A′ B finden, d. h. denjenigen, der als ordentlicher Strahl aus einem von außen kommenden Strahle D B, welcher durch Brechung den Strahl B A liefern würde, entſtehen müßte. Conſtruirt man nun nach dem gewöhnlichen Reflexionsgeſetze für A′B die Richtung B F des reflectirten Strahles, und ſucht man nach der oben angedeuteten Methode die Richtung B E des zu B F gehörenden ungewöhn-

lichen Strahles; ſo ſind BE und BF die beiden Strahlen, welche in Folge der innern Reflexion an der Doppelſpathfläche entſtehen. Die Richtigkeit dieſes Verfahrens läßt ſich nach dem bereits Vorgetragenen leicht einſehen.

316. Kryſtalle, deren Geſtalt zu einem der orthotypen (prismatiſchen) Syſteme gehört, brechen das Licht auch doppelt, aber nach ganz andern Geſetzen, als die vorhin betrachteten rhomboedriſchen und pyramidalen Körper. Es gibt in den orthotypen Kryſtallen zwei Richtungen, längs welchen keine doppelte Brechung erfolgt, und die deßhalb optiſche Axen heißen, während in den rhomboedriſchen und pyramidalen ſich bloß eine ſolche Axe vorfindet. Man nennt dem zu Folge die doppelt brechenden Körper erſterer Art auch zweiaxige, zum Unterſchiede von den andern, welche einaxige genannt werden. Dazu kommt noch der Umſtand, daß die Lage der optiſchen Axen in den zweiaxigen Kryſtallen für jede Gattung farbigen Lichtes eine andere iſt und überdieß in manchen auffallend von der Temperatur des Körpers abhängt. Es können ſogar bei einer beſtimmten Temperatur zwei oder mehrere Paare dieſer Axen zuſammenfallen, daher die Körper für die betreffenden farbigen Strahlen zu den einaxigen gehören.

Guten Meſſungen zu Folge beträgt die Neigung der zwei Brechungsaxen bei Salpeter 50° 20', bei blauſaurem Kali 19° 24', bei Lepidolith 45°, bei Schwerſpath 50°, bei Topas 65°, bei ſchwefelſaurem Eiſen 90°. Die Axe des weinſauren Kalinatrums ſind für violettes Licht um 56°, für rothes um 76' gegen einander geneigt. Glauberit hat für rothes Licht zwei unter 5° gegen einander geneigte, für violettes aber nur eine Axe. Die Axen des Gipſes fallen bei 73½° R. zuſammen, bei einer höheren Temperatur gehen ſie in einer auf den Hauptſchnitt ſenkrechten Ebene aus einander: überdieß ſind dieſelben für die verſchiedenen Farben bei der gewöhnlichen Temperatur nach Nörrenbergs Erfahrung unſymmetriſch vertheilt (Pogg. Ann. 35, 81; 472). Wie am leichteſten über die Lage der Axen geurtheilt werden kann, wird erſt ſpäter erhellen.

317. In Kryſtallen mit zwei Brechungsaxen gibt es keine kugelförmige Lichtwelle, daher auch keinen gewöhnlich gebrochenen Strahl, ſondern jeder der zwei Theile, in welche ein einfallender Strahl getheilt wird, befolgt Geſetze, die von den gewöhnlichen abweichen; doch iſt dieſe Abweichung für einen dieſer zwei Theile nur gering, und iſt deßhalb überſehen worden, bis Fresnel's ſorgfältige, auf theoretiſche Gründe gebaute Unterſuchung das Vorhandenſeyn derſelben kennen lehrte. Wie Fresnel zeigte, kann die Lage der einem einfallenden Strahle entſprechenden gebrochenen Strahlen für zweiaxige Kryſtalle durch eine der in 310 gewieſenen ähnliche geometriſche Conſtruction gefunden werden, ſtatt eines Umdrehungs-Ellipſoides muß man aber dabei eine aus zwei Abtheilungen zuſammengeſetzte, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen auch in rein geometriſcher Hinſicht merkwürdige Fläche, welche hier die Wellenfläche iſt, gebrauchen, deren Beſchaffenheit jedoch auf elementarem Wege keiner vollſtändigen Auseinander-

ſetzung fähig iſt. Es genügt zu bemerken, daß wenn man durch die beiden Axen, die wir hier, von der Farbenzerſtreuung abſehend, auf Strahlen von mittlerer Brechbarkeit beziehen, eine Ebene legt, der Durchſchnitt dieſer Fläche einen Kreis und eine Ellipſe darſtellt, deren gemeinſchaftlicher Mittelpunct (Fig. 327) mit jenem der Fläche zuſammenfällt. Die Hauptaxen der Ellipſe halbiren die Winkel der beiden optiſchen Axen; der Halbmeſſer des Kreiſes iſt kleiner als die größere, und größer als die kleinere Hauptaxe, ſo daß der Kreis die Ellipſe in vier Puncten A durchſchneidet. In der Gegend dieſer Puncte bildet die Fresnel'ſche Fläche trichterförmige Vertiefungen (Hörner), die in Spitzen auslaufen, an deren Enden ſich die genannten Puncte A befinden. Zieht man zu dem Kreiſe und zur Ellipſe eine gemeinſchaftliche Tangente wie BD, und legt durch dieſe eine Ebene, auf die Ebene des Schnittes, wodurch der Kreis und die Ellipſe erhalten wurden, ſenkrecht; ſo iſt erſtere Ebene eine Berührungsebene der Fläche, welche auf die zugehörige trichterförmige Vertiefung wie ein Deckel paßt, und ſämmtliche Berührungspuncte liegen in der Peripherie eines Kreiſes. Die Schnitte, welche ſenkrecht auf die hier betrachteten durch die beiden Axen der Ellipſe gehen, liefern gleichfalls Kreiſe und Ellipſen, aber bei dem einen umſchließt der Kreis die Ellipſe, bei dem andern die Ellipſe den Kreis. Die zwei Geraden BCB, welche durch den Mittelpunct C der Fresnel'ſchen Fläche ſenkrecht auf die erwähnten Berührungsebenen an den Mündungen der Hörner gehen, ſind die wahren optiſchen Axen; die zwei Geraden ACA, welche durch den Mittelpunct der Fläche zu den Spitzen A der Hörner gehen, können die ſcheinbaren optiſchen Axen genannt werden. Der Winkel, um welchen die ſcheinbaren Axen von den wahren abweichen, iſt in allen bekannten Fällen ſehr klein.

318. Auf der Anweſenheit der trichterförmigen Vertiefungen an der Fresnel'ſchen Fläche beruht die von Hamilton entdeckte und von Lloyd auf experimentalem Wege nachgewieſene coniſche Brechung, vermöge welcher ein gewiſſer in einen zweiaxigen Kryſtall eintretender, oder ein aus demſelben herausgehender Strahl in einen hohlen Strahlenkegel aufgelöſet wird. Erſtere heißt die innere, letztere die äußere coniſche Brechung. Entſpricht nämlich einem eintretenden Strahle zur Beſtimmung der Richtungen der gebrochenen Strahlen gerade jene Berührungsebene der Fresnel'ſchen Fläche welche die Mündung eines Trichters ſchließt, ſo finden unendlich viele in der Peripherie eines Kreiſes liegende Berührungspuncte, mithin auch unendlich viele auf der Oberfläche eines Kegels vertheilte Strahlen Statt, welche, wenn die Austrittsfläche am Kryſtalle der Eintrittsfläche des Lichtſtrahles parallel iſt, beim Austritte einen Strahlencylinder geben, deſſen Baſis dem Querſchnitte des Kegels an der Austrittsfläche gleich, und deſſen Axe der Richtung des einfallenden Strahles parallel iſt. An der Spitze eines Hornes gibt es ferner unendlich viele Berührungsebenen der Fresnel'ſchen Fläche, deren jede auf einen andern äußeren Strahl ſich bezieht, und alle dieſe Strahlen

liegen in der Oberfläche eines Kegels. Dieſer Kegel würde ſich beim Eintreten in den Kryſtall auf einen einzigen Strahl reduciren, der in der Richtung einer ſcheinbaren optiſchen Axe fortginge, daher muß umgekehrt ein nach der Richtung einer ſolchen Axe austretender Strahl ſich in einen Strahlenkegel auflöſen. (Pogg. Ann. 28. 91.)

319. Außer den kryſtalliſirten Körpern bewirken auch Glas, das nach einer Seite zuſammengedrückt oder erhitzt und dann ſchnell abgekühlt worden iſt, ferner viele eingedickte, vegetabiliſche und thieriſche Subſtanzen doppelte Brechung. Die Beſchaffenheit der doppelten Brechung kryſtalliſirter Körper wird durch Druck geändert. Ein vierſeitiges, rechtwinkliges, etwa 1 Zoll dickes Glasprisma, das nach der Richtung der Axe mittelſt einer kleinen eiſernen Preſſe nur mäßig zuſammengedrückt wird, zeigt eine vorgehaltene Nadelſpitze deutlich doppelt. Fresnel erhielt an einem aus neun Glasprismen zuſammengeſetzten Parallelepiped, deſſen Beſtandtheile abwechſelnd etwas höher waren und mittelſt einer Preſſe gedrückt werden konnten, während die Zwiſchenſtücke ungedrückt blieben, zwei Bilder, die in der Diſtanz eines Meters um 1½ Millimeter von einander abſtanden. Guerard leiſtete dasſelbe mit einer ähnlichen Zuſammenſetzung aus gekühlten mit ungekühlten abwechſelnden Glasprismen. Ein Quarzſtück erhält durch einſeitige Preſſung zwei Axen der doppelten Brechung. Ein Glascylinder, der zur Rothglühhitze gebracht und dann mit ſeiner Cylinderfläche auf einer kalten Metallplatte hin- und hergerollt wird, erhält durch das ſchnelle Abkühlen eine poſitive Axe der doppelten Brechung, welche mit ſeiner geometriſchen Axe zuſammenfällt. Iſt dieſer Cylinder elliptiſch, ſo erhält er gar zwei Brechungsaxen.

Dieſe Axen ſind aber von denen der kryſtalliſirten Körper weſentlich verſchieden. Solche Körper beſitzen in ihren kleinſten Theilchen dieſelbe doppelt brechende Kraft, und eine Brechungsaxe iſt nicht eine fixe Linie, ſondern eine fixe Richtung. Ein durch Abkühlen, Druck ꝛc. mit doppelt brechender Kraft verſehener Körper hingegen hat in einer beſtimmten Linie das größte doppelt brechende Vermögen, und die Brechungsaxe hat an jeder einzelnen Stelle im Körper eine beſtimmte Lage, nicht bloß nur im Allgemeinen eine beſtimmte Richtung.

320. Wenn man von irgend einem das Licht doppelt brechenden Körper nach gehöriger Weiſe ein dreiſeitiges Prisma ſchleifen läßt, und einen Lichtſtrahl durchleitet; ſo wird man zwei Spectra erhalten, in welchen die Farben in vielen Fällen auf vollkommen gleiche, in beſondern Fällen, z. B. bei dem oxalſauren Chromoxyd-Kali, auf verſchiedene Weiſe angeordnet ſind, und in welchen man auch die dunklen Linien (270) bemerken kann. Dieſe bieten auch hier ein Mittel dar, die Werthe der Brechungsexponenten für verſchiedenfarbige Strahlen, mithin auch die Größe der Farbenzerſtreuung in beiden Bildern kennen zu lernen. Verſuche dieſer Art haben gelehrt, daß die Farbenzerſtreuung nicht für beide Theile, in welche ein Strahl

durch doppelte Brechung geſpalten wird, dieſelbe Größe habe, und daß das Verhältniß der Zerſtreuung deſſelben Strahles in beiden Farbenbildern in verſchiedenen Kryſtallen verſchieden ſey. (Pogg. Ann. 14. 45; 37 317.)

321. Körper, welche das Licht einfach brechen, haben gewöhnlich, wenn ſie durchſichtig ſind, im durchgelaſſenen Lichte nach allen Richtungen dieſelbe Farbe; doppeltbrechende hingegen beſitzen nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Färbung, d. h. Dichroismus. Dieſes rührt davon her, daß ſchon die zwei durch doppelte Brechung getrennten Strahlenbüſchel eine verſchiedene, von ihrer Neigung gegen die Brechungsaxe abhängige Farbe haben und daß auch in verſchiedener Richtung verſchiedenfarbige Strahlen abſorbirt werden. In der gelblichen Varietät des Doppelſpathes iſt das ungewöhnliche Bild längs der Axe ſtets von orangegelber, das gewöhnliche von gelblichweißer Farbe, und dieſer Farbenunterſchied der zwei Bilder wächſt mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe. Aehnliche Phänomene bemerkt man an vielen andern doppelt brechenden Kryſtallen. Der Dichroit erſcheint längs der Axe der doppelten Brechung röthlich, in einer darauf ſenkrechten Richtung hingegen blau ꝛc. Durch Temperaturänderung kann dieſer Dichroismus oft geſteigert werden. So z. B. fand Brewſter in einer Varietät des braſilianiſchen Topaſes, wo eines der zwei Strahlenbüſchel gelb, das andere braun erſchien, daß durch Rothglühhitze die Farbe des ungewöhnlichen Strahles ſehr, jene des gewöhnlichen faſt gar nicht afficirt wird.

Achtes Kapitel.

Polariſation des Lichtes.

322. Im Vorhergehenden wurde, bei der Betrachtung der Reflexion und Brechung des Lichtes lediglich die Aenderung, welche die Richtung deſſelben erleidet, in das Auge gefaßt, die Aenderung aber, welche dabei an der Intenſität des Lichtes vor ſich geht, unbeachtet gelaſſen. Verfolgt man die Erſcheinungen des Lichtes in letzterer Hinſicht, ſo eröffnet ſich der Forſchung ein eben ſo fruchtbares, als intereſſantes Gebiet, nämlich jenes der Phänomene des polariſirten Lichtes, deſſen Bearbeitung ausſchließend der neueſten Zeit angehört und zur Feſtſtellung der Undulationstheorie am kräftigſten beigetragen hat. Setzt man jede hypothetiſche Vorſtellung über die Natur des Lichtes bei Seite und ſieht man bloß auf Thatſachen, ſo wird man auf den Begriff der Polariſation des Lichtes durch die Wahrnehmung geführt, daß es Lichtſtrahlen gibt, welche, nach verſchiedenen ihre Richtung in ſich enthaltenden Ebenen betrachtet, verſchiedene Eigenſchaften beſitzen, ſo zwar, daß wenn Fig. 328 den Querſchnitt eines cylindriſchen Bündels ſolchen Lichtes vorſtellt und A A′, B B′ zwei auf einander ſenkrechte Durchmeſſer dieſes Querſchnittes ſind,

der Strahl in A, A' dieſelben, in B, B' wieder einerlei, aber den vorgenannten entgegengeſetzte Eigenſchaften beſitzt.

323. Eines der Fundamentalfacta der Lichtpolariſation war ſchon Huyghens bekannt, ohne daß jedoch der große Geometer vermocht hätte, den engen Zuſammenhang zu ahnen, in welchem es mit der Wellentheorie des Lichtes ſteht, deren erſte Grundzüge er ſelbſt mit ſo ausgezeichnetem Scharfſinne entworfen hatte. Die Thatſache iſt folgende: Stellt man zwei Doppelſpathe ſo über einander, daß ihre Hauptſchnitte einander parallel ſind, ſo wird jener Theil eines einfallenden Lichtſtrahles, welcher im erſten auf die gewöhnliche Art gebrochen wurde, auch im zweiten auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen, und derjenige, welcher im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, erleidet ſie auch im zweiten. Man ſieht daher durch beide Doppelſpathe nur zwei Bilder des leuchtenden Gegenſtandes gerade ſo, wie es der Fall wäre, wenn beide Doppelſpathe ein einziges Stück ausmachten, deſſen Dicke ſo groß iſt, als die Dicken der erſteren zuſammengenommen. Stehen aber die Hauptſchnitte beider Kryſtalle auf einander ſenkrecht, ſo erfährt jener Theil des einfallenden Strahles, der im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, im zweiten die gewöhnliche und umgekehrt; man ſieht daher wieder nur zwei Bilder. Bei jeder andern Lage der beiden Hauptſchnitte gegen einander wird ſowohl der im erſten Kryſtalle auf die gewöhnliche, als auch der auf die ungewöhnliche Art gebrochene Strahl im zweiten wieder in zwei Theile zerlegt; man ſieht daher vier Bilder. Dieſe haben eine gleiche Intenſität, wenn die beiden Hauptſchnitte um 45° gegen einander geneigt ſind; bei jeder andern Neigung der Hauptſchnitte gegen einander iſt ihre Intenſität verſchieden. Dieſe Erſcheinung lehrt, daß die doppelte Brechung dem Lichte eine eigenthümliche Modification ertheilt, der zu Folge es ſich vom gewöhnlichen Lichte unterſcheidet; ſie blieb aber durch anderthalb Jahrhunderte nicht bloß ein unerklärtes, ſondern auch ein ganz iſolirtes Factum, bis Malus im J. 1810 die Entdeckung machte, daß dieſelbe Modification dem Lichte auch dadurch eingeprägt werden kann, daß man es unter gewiſſen Winkeln von polirten Flächen nicht metalliſcher Körper reflectiren oder durch getrennte Schichten durchſichtiger Körper hindurchgehen läßt. Fällt nämlich ein Lichtſtrahl von Luft auf Glas unter einem Winkel von 54° 35' gegen das Einfallsloth oder unter 35° 25' gegen die Ebene des Glaſes, und fängt man ihn nach erlittener Reflexion mit einem Doppelſpathe auf; ſo erleidet der Strahl nur die gewöhnliche Brechung, falls der Hauptſchnitt des Kryſtalles mit der Reflexionsebene parallel iſt, hingegen nur die ungewöhnliche, wenn der Hauptſchnitt auf der Reflexionsebene ſenkrecht ſteht. In jeder andern Lage des Hauptſchnittes gegen die Reflexionsebene findet doppelte Brechung Statt, aber die beiden Strahlenbüſchel ſind nur dann gleich intenſiv, wenn die zwei genannten Ebenen unter 45° gegen einander geneigt ſind. Dasſelbe zeigt ſich an dem von einer Waſſerfläche reflectirten Lichte, wenn die Neigung des Strahles gegen dieſe Fläche 37° beträgt. Macht man

dieſen Verſuch mit den unter demſelben Einfallswinkel durch mehrere ebene Glasplatten geleiteten, alſo gebrochenen Theil des auffallenden Lichtſtrahles; ſo bemerkt man ähnliche Phänomene, nur mit dem Unterſchiede, daß der Strahl ganz auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen wird, wenn die Brechungsebene auf dem Hauptſchnitte ſenkrecht ſteht, hingegen ganz auf die ungewöhnliche Weiſe, wenn dieſe Ebenen mit einander parallel ſind. Es erlangt daher der unter obigem Winkel von Glas reflektirte Strahl die Eigenſchaft des im Doppelſpath gewöhnlich gebrochenen, der gebrochene die des ungewöhnlich gebrochenen Strahles, und die beiden Lichtbüſchel, in welche der auf Glas fallende Strahl getheilt und deren eines reflectirt, das andere gebrochen wird, verhalten ſich, wie die beiden durch doppelte Brechung von einander getrennten Theile.

324. Man kann dieſen Verſuch auch umgekehrt anſtellen, und ſtatt den von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahl auf einen Doppelſpath zu leiten, die ſchon in einem Doppelſpath in zwei Bündel getheilten Büſchel auf eine Glastafel auffallen laſſen. In dieſem Falle iſt es gut, wenn man ein achromatiſches Doppelſpathprisma anwendet, mit welchem die zwei Strahlenbüſchel ſo ſtark divergirend gemacht werden, daß man jeden einzelnen für ſich auf das Glas leiten kann. Läßt man nun den gewöhnlich gebrochenen Strahl auf ein Glas unter 35° 25′ fallen; ſo wird ein Theil deſſelben unverändert reflectirt, ein anderer durchgelaſſen, wenn die Einfallsebene des Strahles auf Glas mit dem Hauptſchnitte des Kryſtalles parallel iſt, hingegen wird kein Theil des Strahles zurückgeworfen, ſondern derſelbe vollſtändig durchgelaſſen, oder (falls das Glas geſchwärzt iſt) abſorbirt, wenn dieſe beiden Ebenen auf einander ſenkrecht ſtehen. Mit dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle findet das Gegentheil Statt. Dieſer wird bei oben angegebener Neigung gegen die Ebene des Glaſes vollſtändig durchgelaſſen und abſorbirt, wenn die beiden oben genannten Ebenen mit einander parallel ſind. Stehen dieſe Ebenen auf einander ſenkrecht, ſo findet partielle Reflexion und Transmiſſion, jedoch ohne Aenderung der Beſchaffenheit des Strahles, Statt. Bei einer ſchiefen Stellung der Einfallsebene des einen oder des andern der beiden doppelt gebrochenen Strahlen gegen den Hauptſchnitt des Doppelſpathes, mit oder ohne Veränderung des Einfallswinkels, erfolgt nebſt der theilweiſen Reflexion und Transmiſſion noch eine Aenderung in der Beſchaffenheit des Strahles, die einer Drehung der Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes, der den Strahl geliefert hat, gleichgilt.

325. Es iſt nun nicht ſchwer, vorherzuſehen, wie ſich ein auf Glas unter 35° 25′ auffallender Strahl nach der Reflexion oder Brechung verhalten wird, wenn man ihn unter demſelben Winkel wieder auf eine Glasplatte auffallen läßt. Es wird nämlich der Strahl, welcher von einer Glastafel unter 35° 25′ reflectirt worden iſt und unter demſelben Winkel auf eine zweite Glastafel fällt, zum Theil un-

geändert reflectirt, zum Theil ungeändert durchgelaſſen, wenn die Einfallsebenen in beiden Gläſern mit einander parallel ſind, hingegen vollſtändig und ungeändert durchgelaſſen, oder, falls das Glas geſchwärzt iſt, abſorbirt, wenn jene Ebenen auf einander ſenkrecht ſtehen, in jeder Zwiſchenlage aber, bei einer jeden Neigung gegen die zweite Glasplatte wieder in verändertem Zuſtande zum Theile reflectirt, zum Theile durchgelaſſen oder abſorbirt. Das Gegentheil geſchieht mit dem durch mehrere auf einander gelegte Glasplatten gebrochenen Strahle. Die Eigenſchaften eines von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahles beſitzt auch ein ſolcher, der von vielen andern Körpern unter einem beſtimmten Winkel reflectirt oder gebrochen worden iſt, und es wurde vorher nur das Glas angeführt, um einen beſondern Fall vor Augen zu haben.

326. Malus ſuchte dieſe Erſcheinungen nach der zu ſeiner Zeit noch allgemein herrſchenden Emiſſionstheorie des Lichtes zu deuten. Er nahm an, daß die Lichttheilchen, kleinen Magneten ähnlich, mit Polen verſehen ſeyen, die in einem aus doppelter Brechung hervorgehenden oder durch Reflexion unter dem ſchicklichen Winkel erhaltenen Strahle übereinſtimmende Stellungen erlangt haben, weßwegen er einen ſolchen Strahl einen polariſirten nannte, während die Lichttheilchen in einem gewöhnlichen oder unpolariſirten Strahle nach dieſer Vorſtellungsweiſe alle möglichen Richtungen haben. Um jedoch für die Angabe dieſer Anordnung einen ſicheren Anhaltspunct zu gewinnen, nannte man ſeit der Entdeckung der neueren Polariſationsphänomene die Hauptſchnittsebene eines Doppelſpathes in Bezug auf den gewöhnlich gebrochnen Strahl oder die Reflexionsebene eines von einer Glastafel unter dem Neigungswinkel von 35° 25′ reflectirten Strahles in Bezug auf dieſen die Polariſationsebene. Der Winkel, unter welchen das Licht einfallen muß, um durch Reflexion oder Brechung vollkommen polariſirt zu werden, wird Polariſationswinkel genannt. Hiernach erklärt ſich der Sinn der Redensart: »die Polariſationsebenen des gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Strahles oder des von einer Glastafel unter dem gehörigen Winkel reflectirten und des von einer Reihe von Glastafeln durchgelaſſenen Strahles ſtehen auf einander ſenkrecht, oder dieſe Strahlen ſind entgegengeſetzt polariſirt« von ſelbſt. Dieſe Benennungen haben ſich auch noch erhalten, nachdem man die Polariſationserſcheinungen beſſer zu deuten wußte, und wurden in die Undulationstheorie übertragen. Nur muß man in dieſer Theorie annehmen, daß die Schwingungen der Aetherteilchen, welche in allen dieſen Fällen geradlinig vor ſich gehen, ſenkrecht gegen die Polariſationsebene des Strahles erfolgen, wodurch ein Unterſchied zwiſchen Polariſationsrichtung und Schwingungsrichtung erwächſt. Beide ſtehen auf einander und auf dem betreffenden Lichtſtrahle ſenkrecht; die Polariſationsrichtung iſt in der Polariſationsebene, die Schwingungsrichtung ſteht auf derſelben ſenkrecht.

327. Die Undulationstheorie vermag nun von den vorgenann=

ten Erſcheinungen eine vollkommen befriedigende Erklärung zu geben. Gelangt Licht an die Grenze eines doppelt brechenden Körpers, z. B. eines Doppelſpathes und iſt der einfallende Strahl weder im Hauptſchnitte, noch ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt, ſo können die Vibrationen, welche den an der Oberfläche des Körpers befindlichen Aethertheilchen mitgetheilt werden, nicht verändert in das Innere dieſes Körpers übergehen. Es vermag nämlich ein Körper dieſer Art nach einer nicht mit einer optiſchen Axe zuſammenfallenden Richtung bloß geradlinige Lichtvibrationen, und unter dieſen bloß ſolche, die entweder in der Ebene des Hauptſchnittes oder ſenkrecht gegen dieſe Ebene Statt finden, unverändert fortzupflanzen (vergleiche 314) Schwingungen eines Aethertheilchens im einfallenden Strahle in zwei geradlinige Schwingungen, wovon die eine ſenkrecht gegen die Ebene des Hauptſchnittes, die andere in dieſer Ebene erfolgt; ſo kann man den einfallenden Strahl als den Inbegriff zweier Strahlen betrachten, die einerlei Richtung und Geſchwindigkeit haben, und wovon der eine im Hauptſchnitte, der andere ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt iſt. Jeder dieſer Strahlen erzeugt in dem doppelt brechenden Mittel einen Strahl von gleichem Polariſationszuſtande, indem die Elementarwellen, die von den an der Grenzfläche erſchütterten Aethertheilchen ausgehen, nur nach einer gewiſſen Richtung im Einklange wirken, nach andern Richtungen aber ſich wechſelſeitig tilgen. Wegen der verſchiedenen Form dieſer Wellen für die zwei ſo eben unterſchiedenen Schwingungsweiſen erhalten die reſultirenden zwei Strahlen verſchiedene Richtungen, wie dieß bereits im vorhergehenden Kapitel erklärt wurde. Hiernach läßt ſich nun einſehen, wie es kommt, daß ein geradlinig polariſirter Lichtſtrahl, der in einen Doppelſpath eindringt, nur dann zwei Bilder von gleicher Lichtſtärke liefert, wenn ſeine Polariſationsebene mit dem Hauptſchnitte einen Winkel von 45° macht, und daß bei einem kleineren Winkel beider Ebenen das gewöhnliche, bei einem größeren das ungewöhnliche Bild das intenſivere iſt. Im erſten Falle ſind nämlich beide Componenten des Lichtſtrahles gleich ſtark; im zweiten hat die nach dem Hauptſchnitte, im dritten die ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirte Componente das Uebergewicht. Anders verhält es ſich mit dem unpolariſirten Lichte; da haben dieſe Componenten raſch hinter einander alle möglichen Größen, von Null angefangen bis zur Intenſität des einfallenden Strahles, und der Effect beider fällt daher gleich aus.

328. Auch die Polariſation des Lichtes durch Reflexion läßt ſich nach den Principien der Undulationstheorie erklären. Nach den Geſetzen der Mechanik ergibt ſich das merkwürdige Reſultat, daß die Amplitude der Vibrationen in einer Aetherwelle, die an einer einfach brechenden Subſtanz reflectirt wird, von dem Einfallswinkel, dem Brechungswinkel und überdieß vom Polariſationszuſtande der Welle abhängt, und daher für Schwingungen, die ſenkrecht gegen die Einfallsebene vor ſich gehen, nach einem andern Geſetze beſtimmt wird, als für ſolche, deren Richtungen in der Einfallsebene liegen. Setzt

man die Amplitude oder die Schwingungsintenſität im einfallenden Strahle = 1, im reflectirten, wenn die Schwingungen ſenkrecht gegen die Einfallsebene geſchehen = R, und wenn dieſelben in der Einfallsebene Statt finden = R′; ſo hat man für Glas, Waſſer und ähnliche Medien

$$R = -\frac{\sin(a - b)}{\sin(a + b)}, \quad R' = \frac{\sin 2a - \sin 2b}{\sin 2a + \sin 2b}.$$

Die Quadrate dieſer Ausdrücke geben die Intenſität des betreffenden reflectirten Strahles an, wenn die Intenſität des einfallenden Lichtes = 1 angenommen wird.

Hat der einfallende Strahl eine ſolche Richtung, daß $\sin 2a = \sin 2b$ ausfällt, ſo wird $R' = 0$. Dieß ſetzt voraus, daß $2a + 2b = 180^\circ$, alſo $a + b = 90^\circ$ ſey, mithin die Richtung des gebrochenen Strahles auf jener des einfallenden ſenkrecht ſtehe, ein Reſultat, welches nicht bloß die Möglichkeit rechtfertigt, daß ein ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirter Lichtſtrahl gar keinen reflectirten Lichtſtrahl liefere, ſondern auch den Einfallswinkel angibt, unter welchem dieſer Fall eintritt, deſſen Ergänzung zu 90° der im Vorhergehenden ſogenannte Polariſationswinkel iſt. Nennt man den Brechungsexponenten n, ſo iſt $\sin a = n \sin b$, und da nach Obigem $\cos a = \sin b$ folgt, ſo hat man $\tan a = n$. Das durch die Formel $a + b = 90^\circ$ ausgeſprochene Geſetz hat zuerſt Brewſter auf dem Wege der Erfahrung entdeckt.

Da man eine jede auch krummlinige Schwingung immer in zwei geradlinige Schwingungen zerlegen kann, deren eine in irgend welche durch den Strahl gelegte Ebene fällt, die andere dagegen ſenkrecht iſt; ſo läßt ſich jeder auf eine ſpiegelnde Fläche einfallende Lichtſtrahl aus zwei Strahlen zuſammengeſetzt denken, deren einer ſenkrecht gegen die Einfallsebene, der andere in der Einfallsebene polariſirt iſt. Wählt man nun den Einfallswinkel ſo, daß die reflectirende Fläche. z. B. eine Glasplatte, unfähig iſt, von dem erſteren Strahle irgend einen Theil zu reflectiren, ſo kann bei dieſer Incidenz (54° 35′) der reflectirte Strahl bloß von dem in der Einfallsebene polariſirten Antheile des einfallenden Lichtes herrühren; er wird alſo lediglich aus Licht letztgenannter Art beſtehen. Im durchgelaſſenen Lichte wird dem gemäß (abgeſehen von der Abſorption) alles der Reflexion entgangene Licht, mithin alles im einfallenden Lichte vorhanden geweſene ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirte mit einem geringen Antheile in der Einfallsebene polariſirten Lichtes gemengt enthalten ſeyn. Fällt dieſes auf eine zweite mit erſterer parallele Glasplatte, ſo enthält der durchgelaſſene Strahl noch weniger von dem in der Einfallsebene polariſirten Lichte, und dieſes wird, bei Anwendung einer hinreichenden Anzahl Glasplatten, endlich ganz unmerklich, ſo daß das durchgehende Licht lediglich aus ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Strahlen beſteht.

329. Fällt ein polariſirter Lichtſtrahl unter einem beliebigen Winkel auf eine geſchwärzte Glasplatte, ſtimmt die Polariſations-

ebene deſſelben mit der Einfallsebene überein oder bilden dieſe Ebenen einen rechten Winkel; ſo trägt der reflectirte Strahl genau die Beſchaffenheit des einfallenden an ſich, er iſt wie dieſer polariſirt, und nur hinſichtlich der Intenſität von ihm verſchieden. Iſt aber die Polariſationsebene des einfallenden Strahles unter einem ſchiefen Winkel gegen die Einfallsebene geneigt; ſo erſcheint der reflectirte Strahl auch noch als ein polariſirter, allein ſeine Polariſationsebene macht, den Fall der ſenkrechten Incidenz ausgenommen, mit der Einfallsebene einen andern Winkel als vor der Reflexion. Daſſelbe gilt auch bei der Reflexion des polariſirten Lichtes von Waſſer und andern durchſichtigen Medien.

Man kann das Geſetz dieſer Drehung der Polariſationsebene durch Reflexion an der Oberfläche einfach brechender Subſtanzen aus den in I. 402 angeführten Formeln ableiten, wenn man den einfallenden Strahl in ſeine Componenten zerlegt, die Intenſitäten der aus denſelben entſpringenden reflectirten Strahlen beſtimmt, und aus letzteren den reſultirenden reflectirten Strahl ableitet. Iſt a der Einfallswinkel des polariſirten Strahles, b der Brechungswinkel für das in die durchſichtige Subſtanz eindringende Licht, φ der Winkel, den die Polariſationsebene des einfallenden Lichtes mit der Einfallsebene macht, ψ dieſer Winkel für das reflectirte Licht; ſo findet man auf dieſem Wege die bereits von Fresnel aufgeſtellte Gleichung:

$$tang\,\psi = tang\,\varphi \cdot \frac{cos\,(a + b)}{cos\,(a - b)}.$$

Die Richtigkeit derſelben wurde beſonders von Brewſter durch zahlreiche Verſuche bewieſen.

Eine ähnliche Bewandtniß hat es mit dem in ein einfach brechendes Medium eindringenden Theile eines polariſirten Lichtſtrahles. Auch hier findet im Allgemeinen eine Drehung der Polariſationsebene Statt. Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, und nennen wir den Winkel, den die Polariſationsebene des gebrochenen Strahles mit der Einfallsebene macht, ω; ſo gilt die ſowohl durch die Theorie gerechtfertigte, wie auch von Brewſter auf experimentellem Wege ſcharf geprüfte Gleichung:

$$tang\,\omega = \frac{tang\,\varphi}{cos\,(a - b)},$$

aus welcher ſich alle hier vorkommenden Einzelnheiten leicht entnehmen laſſen.

330. Ein gewöhnlicher Lichtſtrahl, der auf einen Körper unter einem Winkel auffällt, der größer oder kleiner iſt als der Polariſationswinkel, erſcheint nach der Reflexion oder Brechung nicht als ein polariſirter, dies Wort in der bisher gebrauchten Bedeutung genommen; denn er gibt mittelſt eines Doppelſpathes ſelbſt dann noch zwei Bilder, wenn der Hauptſchnitt des letzteren mit der Einfallsebene parallel iſt, doch ſind dieſe zwei Bilder nicht wie beim unpolariſirten Lichte gleich hell, ſondern eines überwiegt das andere an Helligkeit deſto mehr, je näher der Einfallswinkel an dem reflectirenden oder brechenden Körper dem Polariſationswinkel ſteht. Ein ſolcher Strahl hat demnach zum Theile die Eigenſchaften eines gewöhnlichen, zum

Theile jene eines polariſirten an ſich und heißt deßhalb **unvollkommen polariſirt**. Betrachtet man das gemeine Licht als zuſammengeſetzt aus zwei rechtwinklig polariſirten Hälften und unterſucht die Drehung der Polariſationsebene einer jeden; ſo läßt ſich einſehen, wie es kommt, daß ein ſogenannter unvollkommen polariſirter Strahl durch mehrere auf einander folgende Reflexionen oder Brechungen unter Winkeln, die vom Polariſationswinkel abweichen, zu einem vollkommen polariſirten wird.

Nicht jeder einfach brechende Körper vermag das Licht vollkommen zu polariſiren. Ein Beiſpiel davon liefert der Diamant. Dieſer Umſtand läßt ſich, wie **Cauchy** gefunden hat, gleichfalls theoretiſch nachweiſen (Pogg. Ann. 50. 409). Auch die Geſetze der Polariſation durch Reflexion an doppelt brechenden Körpern ſind bereits dem Calcul unterworfen worden. **Mac-Cullagh**, **Seebeck**, **Neumann** haben hieher gehörende Formeln angegeben. (S. **Neumann's** Abhandlung: Ueber den Einfluß der Kryſtallflächen bei der Reflexion des Lichtes. Berlin, 1837. Derſelbe in Pogg. Ann. 40. 497; 42. 1. **Seebeck** ebend. 38. 276; 40. 462.)

331. Aus dem Vorhergehenden erhellet von ſelbſt, wie man ſich durch Reflexion und Transmiſſion, und im letzteren Falle ſowohl durch einfache, wie auch durch doppelte Brechung polariſirtes Licht verſchaffen, und wenn ein Strahl gegeben iſt, denſelben in Abſicht auf ſeinen Polariſationszuſtand unterſuchen könne. Bei Anwendung doppelt brechender Subſtanzen iſt oft die geringe Trennung beider polariſirten Strahlen ſtörend; doch kann auch einer dieſer Strahlen entweder durch die natürliche Beſchaffenheit des polariſirenden Körpers in Folge einer Abſorption oder Zerſtreuung wegfallen, oder er kann durch totale Reflexion bei Seite geſchafft werden. Durch Abſorption polariſirt der Turmalin, durch Zerſtreuung eine Achatplatte; auf der Beſeitigung eines der zwei durch doppelte Brechung ſich ergebenden Strahlen mittelſt totaler Reflexion beruht die Einrichtung des **Nicol'ſchen** Doppelſpathrhomboeders.

Ein Plättchen aus einem Turmalinkryſtall, das parallel mit der Kryſtallaxe geſpalten iſt, abſorbirt von einem darauf fallenden Strahle den ordentlich gebrochenen, nach der Richtung der Axe polariſirten Theil, und läßt den andern, d. i. den außerordentlich gebrochenen, ſenkrecht gegen die Axe polariſirten, durch. Ein ſolches Plättchen iſt daher für darauf fallendes bereits polariſirtes Licht undurchſichtig, wenn die Polariſationsebene der Axe des Plättchens parallel iſt. Deßhalb geht durch zwei Turmalinplättchen, deren Axen ſich kreuzen, kein Licht durch, während ſie, wenn die Axen parallel ſind, Licht reichlich durchlaſſen. Es dürfen aber, damit dieſer Erfolg befriedigend eintrete, die Plättchen nicht zu dünn ſeyn. Betrachtet man einen ſchmalen hellen Gegenſtand durch ein dreiſeitiges Turmalinprisma, deſſen brechender Winkel klein iſt und der ſeine Kante mit der Kryſtallaxe parallel hat; ſo erſcheint der Gegenſtand doppelt, wenn das Licht nahe an dieſer Kante durch das Prisma geht. Läßt man aber das Licht nach und nach durch Stellen gehen, die von der Kante entfernt ſind, mithin eine größere Dicke haben; ſo wird das durch gewöhnliche Brechung entſtandene Bild dunkler und verſchwindet zuletzt gänzlich. Eine parallel mit

der Kryſtallaxe geſchnittene Turmalinplatte iſt demnach ein treffliches Mittel, um in einer beſtimmten Richtung polariſirtes Licht zu erhalten oder auch um zu prüfen, ob ein in das Auge eindringender Lichtbündel polariſirt ſey und welche Lage deſſen Polariſationsebene habe. Iſt man über die Lage der Axe eines ſolchen Turmalinplättchens in Ungewißheit, ſo läßt ſich dieſelbe leicht finden. Man ſehe, das Plättchen vor das Auge haltend, in ſchiefer Richtung gegen eine geſchwärzte, vom Tageslichte beleuchtete Glasplatte oder auch nur gegen einen polirten Tiſch, und drehe dabei das Plättchen um eine auf ſeiner Ebene ſenkrechte Gerade herum. Da zeigt ſich das Geſichtsfeld während einer Umdrehung zweimal in größter Helligkeit und zweimal in größter Dunkelheit. So oft letzteres der Fall iſt, befindet ſich die optiſche Axe des Plättchens in der Reflexionsebene des Lichtes. Findet man, daß bei einer beſtimmten Stellung des Plättchens ein auf ſelbes ſenkrecht einfallender Lichtſtrahl gänzlich verſchluckt wird; ſo iſt dieſer polariſirt, und ſeine Polariſationsrichtung ſtimmt mit der Axe des Plättchens überein. Geſetzt, man habe ein dreiſeitiges Prisma aus Bergkryſtall, deſſen Seitenflächen mit der Kryſtallaxe parallel geſchnitten ſind, ſo aufgeſtellt, daß die Kante des brechenden Winkels horizontal und abwärts gekehrt iſt, und man betrachte damit einen etwas entfernten horizontalen weißen Papierſtreifen. Man erblickt unter dem Gegenſtande zwei über einander geſtellte, wegen der Farbenzerſtreuung gefärbte, jedoch deutlich getrennte Bilder, die hier beide nach den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung des Lichtes entſtehen. Da die ungewöhnliche Brechung im Bergkryſtalle anziehend erfolgt, ſo iſt im vorliegenden Falle der Brechungsexponent für den ordentlichen Strahl kleiner als für den außerordentlichen; demnach entſpricht das höher ſtehende Bild der ordentlichen, das tiefere der außerordentlichen Brechung des Lichtes. Bringt man nun ein Turmalinplättchen zwiſchen das Prisma und das Auge, und befindet ſich die Axe desſelben in einer Verticalebene, d. h. in der Stellung, in der das von einer horizontalen geſchwärzten Platte ſchief kommende Licht aufgehalten wird, ſo verſchwindet das tiefere Bild. Dreht man das Turmalinplättchen um 90°, ſo erſcheint dieſes Bild wieder, und es verſchwindet das höhere. Es ſind demnach die Strahlen, welche das höhere Bild geben, parallel mit der Kante des Prisma's, folglich parallel mit der Axe des Bergkryſtalles, d. h. im Hauptſchnitte, die Strahlen dagegen, denen das tiefere Bild gehört, ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt. Hieraus ergibt ſich die Folgerung, daß auch im Bergkryſtalle die in einer gegen die Kryſtallaxe ſenkrechten Ebene gewöhnlich gebrochenen Strahlen im Hauptſchnitte, die ungewöhnlichen ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt ſind. Iſt aber das Bergkryſtallprisma nach einer andern, vom Parallelismus mit der Kryſtallaxe bedeutend abweichenden Richtung geſchnitten, ſo findet man keinen der beiden Strahlen polariſirt, während bei einem Prisma aus Doppelſpath und vielen andern doppelt brechenden Subſtanzen beide Strahlen ſtets vollkommen polariſirt erſcheinen. Dieß gibt zu erkennen, daß die Fortpflanzung des Lichtes im Bergkryſtalle mittelſt Schwingungen erfolge, die von den in andern doppelt brechenden Körpern Statt findenden verſchieden ſind. Nach dem Geſagten läßt ſich auch ſehr leicht erkennen, ob eine doppelt brechende Subſtanz, aus der man ein Prisma geſchliffen hat, auf das Licht attractiv oder repulſiv wirke.

In Fällen, wo die Färbung der Turmaline die Reinheit der Erſcheinungen ſtört, bedient man ſich mit Vortheil der Nicol'ſchen Parallelepipede oder Prismen. Ein ſolches Prisma kommt an Geſtalt einem durch Spaltung erhaltenen länglichen Doppelſpath-Paral-

lelepiped oder Rhomboid ziemlich nahe. Man erhält es, wenn man die ſpitzigen Kantenwinkel eines kleinen Doppelſpathrhomboides zu 68° zuſchleiſt, die neuen Flächen polirt, das Rhomboid dann in zwei gleiche Theile theilt, durch einen Schnitt, der durch die ſpitzigen Kantenwinkel und die ſtumpfen Körperwinkel geht, und endlich die Schnittflächen durch Canadabalſam oder Terpentin wieder vereinigt. Fällt nun ein Strahl darauf der Länge des Rhomboides parallel, ſo erleidet er in demſelben die doppelte Brechung; der gewöhnlich gebrochene Strahl, auf den die Balſamſchichte wie ein ſchwächer brechendes Mittel wirkt, erleidet an derſelben, der Schiefe der Incidenz wegen, die totale Reflexion, und wird ſeitwärts abgelenkt, während der andere Strahl, rückſichtlich deſſen die Balſamſchichte als ein ſtärker brechendes Mittel zu betrachten iſt, dieſelbe durchdringt. Der Parallelismus der Ein- und Austrittsfläche bewirkt die Achromatiſirung des durchgelaſſenen Lichtes.

Ein Turmalinplättchen, oder beſſer wegen der größeren Durchſichtigkeit und Farbloſigkeit, ein Nicol'ſches Prisma, kann bei manchen Unterſuchungen mit großem Vortheile gebraucht werden, um einen Theil des ins Auge eindringenden Lichtes wegzuſchaffen. Eine intereſſante Anwendung hievon auf das deutlichere Sehen von Gegenſtänden, die ſich unter Waſſer befinden, hat Arago angegeben Es überwiegt nämlich das von der Oberfläche des Waſſers durch Spiegelung in das Auge kommende Licht, ſeiner großen Intenſität wegen, den Eindruck, den das aus dem Waſſer ſpärlich heraustretende hervorzubringen vermag, dergeſtalt, daß letzterer gänzlich verwiſcht wird. Aber das von oben auf die Waſſerfläche fallende Licht wird an ſelber, wenn der Neigungswinkel ſeiner Richtung gegen dieſe Fläche nahe 37° beträgt, durch Reflexion polariſirt. Sieht man daher nach dieſer Richtung mit freiem Auge oder mittelſt eines Fernrohres gegen das Waſſer, und läßt man das dem Auge zugeſendete Licht vorher durch ein ſchicklich angebrachtes Turmalinplättchen oder Nicol'ſches Prisma gehen; ſo wird alles von der Waſſerfläche reflectirte Licht ausgeſchloſſen, und man erhält lediglich die aus dem Waſſer hervorkommenden Strahlen. Welchen Nutzen dieß den Schiffern gewähren kann, iſt für ſich klar.

332. Die in dieſem Kapitel angeſtellten theoretiſchen Betrachtungen über Polariſation ruhen vornehmlich auf der Vorausſetzung, daß die Schwingungen der Aethertheilchen bei der Lichtfortpflanzung ſenkrecht gegen die Strahlen, d. h. transverſal vor ſich gehen. Eine von Fresnel und Arago im Jahre 1816 vorgenommene Unterſuchung der Interferenz des polariſirten Lichtes lieferte einen directen Beweis der Richtigkeit dieſer Vorausſetzung. Wie nämlich dieſe Phyſiker fanden, geht die Interferenz zweier Bündel geradlinig polariſirten Lichtes, wenn die Polariſationsrichtungen derſelben parallel ſind, genau ſo vor ſich, wie ſie unter den nämlichen Umſtänden mit gewöhnlichem Lichte Statt findet; ſobald aber die Polariſationsrichtungen einen ſchiefen Winkel machen, geht die Schwächung der Lichtintenſität nicht mehr bis zur Vernichtung des Lichtes, und beträgt um ſo weniger, je größer der Winkel der Polariſationsrichtungen iſt, weßwegen das Interferenz-Phänomen ſelbſt in entſprechendem Grade an Deutlichkeit verliert; ſtehen endlich die Polariſationsrichtungen auf einander ſenkrecht, ſo fällt jede Schwächung des Lichtes und mit-

hin auch die Wahrnehmbarkeit des Interferenz-Phänomens hinweg. Dieſe Thatſache läßt ſich nur aus der Annahme transverſaler Lichtſchwingungen erklären, ſo wie dieſe allein eine Verſchiedenheit der Lichtſtrahlen nach verſchiedenen Seiten betrachtet möglich machen, während bei longitudinalen Vibrationen alle Beziehungen dieſer Art wegfallen.

Verſuche zum Beweiſe oben erwähnter wichtigen Thatſache macht man am beſten mit zwei gleichen parallelen Spalten, die man vor das Objectiv eines Fernrohres bringt, und vor welchem ſich zum Behufe der Polariſirung der durch dieſelben hindurchgehenden Lichtbündel entweder zwei gleiche Turmalinplättchen, oder zwei gleich dicke Säulen aus Glas oder Glimmertafeln befinden, deren Lage die relative Stellung der Polariſationsebenen der durch dieſe Spalten gehenden Lichtbündel beſtimmt. Setzt man vor die beiden Spaltöffnungen zwei gleich dicke, der Kryſtallaxe parallel geſchnittene Bergkryſtallplatten, ſo ſieht man, je nachdem die Axen parallel oder gegen einander geneigt oder auf einander ſenkrecht ſtehen, das gewöhnliche Interferenzphänomen, oder dieſes in geringerer Intenſität und zu beiden Seiten deſſelben ebenfalls Interferenzſpectra, oder nur letztere allein. Nennen wir nämlich die in beiden Spalten durch gewöhnliche Brechung des Lichtes ſich ergebenden Strahlen O und O′, die durch ungewöhnliche Brechung entſtehenden E und E′; ſo interferiren ſich im erſten Falle bloß O und O′, ferner E und E′, und die Spectra coincidiren; im zweiten kommen noch die Interferenzen von O mit E′ und von O′ mit E hinzu; im dritten interferiren ſich bloß die letzteren zwei Strahlenſyſteme. Die Ausſchließung der Interferenz von O′ mit E′ und von O′ mit E im erſten Falle, und der Interferenz von O mit O′ und von E mit E′ im dritten lehrt, daß rechtwinkelig zu einander polariſirte Strahlen durch Interferenz keine Modification der Intenſität des Lichtes erzeugen.

333. Wird ein polariſirter Strahl an der Grenzfläche eines einfach brechenden Mittels zurückgeworfen, ſo hängt die Lage der Polariſationsebene des reflectirten Strahles, wie aus der in 329 angegebenen Formel erhellet, nicht bloß von der Stellung der Polariſationsebene des einfallenden gegen die Einfallsebene und vom Einfallswinkel, ſondern überdieß noch von der Beſchaffenheit der an einander grenzenden Medien ab, denn es kommt in dieſer Formel auch der zu dem vorhandenen Einfallswinkel gehörende Brechungswinkel vor. Deßhalb aber gibt dieſelbe über den Zuſtand des reflectirten Strahles im Falle der totalen Reflexion, wo der Brechungswinkel imaginär erſcheint, keinen Aufſchluß. Indem Fresnel die Modification des polariſirten Lichtes in genanntem Falle zum Gegenſtande ſeiner Unterſuchungen machte, wurde er zu einer ſeiner ſchönſten und wichtigſten Entdeckungen geführt, die wir jetzt aus einander ſetzen wollen. Läßt man einen polariſirten Lichtſtrahl AB (Fig. 329) in ein dreiſeitiges, mit gleichen Winkeln bei E und F verſehenes Glasprisma DEF, ſenkrecht gegen die Fläche DF eintreten, wodurch er hinſichtlich ſeines Polariſationszuſtandes ungeändert an der Fläche EF ankommt, und hat man den Winkel D dergeſtalt gewählt, daß der Strahl in B total reflectirt wird; ſo findet man den zurückgeworfenen Strahl BO

(der wegen des ſenkrechten Austrittes an der Fläche DE keine weitere Veränderung erleidet) wie vor dem Eintritte in das Prisma polariſirt, wenn die urſprüngliche Polariſationsebene mit der Einfallsebene parallel oder auf ihr ſenkrecht iſt, dagegen gänzlich verändert und ſcheinbar in einen ſogenannten unvollkommen polariſirten Strahl (330) verwandelt, wenn die urſprüngliche Polariſationsebene eine ſchiefe Stellung gegen die Einfallsebene hat. Der reflectirte Strahl gibt nämlich in letzterem Falle, mittelſt eines Doppelſpathes, bei jeder Lage des Hauptſchnittes zwei Bilder, deren Intenſität mit der Stellung des Hauptſchnittes wechſelt, ohne jedoch ſich auf Null zu reduciren. Er iſt demungeachtet von einem unvollkommen polariſirten Strahle weſentlich verſchieden. Um die Veränderung, welche die totale Reflexion einem polariſirten Lichtſtrahle beibringt, in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, iſt es am zweckmäßigſten, ſtatt des dreiſeitigen Prisma's ein Parallelepiped von der Form DEFG, (Fig. 330) anzuwenden, deſſen ſpitze Winkel D und F für Glas mit dem Brechungsexponenten 1,5 entweder 48° oder 54° betragen, und deſſen Länge geſtattet, daß ein durch die Fläche DG ſenkrecht eindringender Lichtſtrahl AB nach zwei Reflexionen bei B und C, die hier nothwendig totale ſind, durch die Fläche EF austrete, was gleichfalls unter einem rechten Winkel geſchieht. Läßt man einen durch Reflexion an einer Glasplatte oder an einem geſchwärzten Spiegel polariſirten Lichtſtrahl ſenkrecht auf die Fläche DG eines ſolchen Fresnel'ſchen Parallelepipeds fallen, und unterſucht man den durch die Fläche EF austretenden Lichtſtrahl hinſichtlich ſeines Polariſationszuſtandes mittelſt eines achromatiſchen Doppelſpathprismas; ſo findet man ihn, wenn die Reflexionsebene DEFG des Parallelepipeds der Reflexionsebene der Glasplatte oder des ſchwarzen Spiegels parallel ſteht, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped, nämlich in dieſer Reflexionsebene polariſirt. Dreht man nun das Parallelepiped ein wenig um eine auf die Ein- und Austrittsfläche des Lichtes ſenkrechte Axe, ſo iſt der Zuſtand der vollkommenen Polariſation des Lichtes geſtört, man bringt es, bei Anwendung des Doppelſpath-Prisma's nicht mehr zur früheren Dunkelheit eines der beiden Bilder; das ungewöhnliche Bild, deſſen Intenſität im vorigen Falle auf Null reducirt wurde, wenn die Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes mit der Reflexionsebene der Glasplatte oder des ſchwarzen Spiegels zuſammenfiel, erlangt jetzt ſeine geringſte Intenſität, wenn dieſe Hauptſchnittsebene mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds übereinſtimmt. Dreht man das Parallelepiped wieder ein wenig, ſo zeigt ſich eine ähnliche Erſcheinung, nur iſt das Bild im Minimum ſeiner Intenſität noch weniger dunkel als früher. Hat man dem Parallelepiped eine ſolche Stellung gegeben, daß die Reflexionsebene deſſelben mit jener der polariſirenden Spiegelfläche einen Winkel von 45° macht, ſo hört jede Aenderung der Lichtſtärke der Bilder bei den verſchiedenen Stellungen des Doppelſpathes auf, der Strahl ſcheint jede Spur von Polariſation verloren zu haben, d. i. in den Zuſtand des gemeinen Lichtes zurückgekehrt zu ſeyn. Bei

weiterem Drehen des Parallelepipeds erſcheinen wieder Intenſitätsänderungen der beiden Bilder, nur iſt jetzt das gewöhnliche Bild jenes, deſſen Intenſität am geringſten ausfällt, wenn der Hauptſchnitt des Doppelſpathes mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds parallel ſteht. Iſt endlich dieſe Ebene um 90° aus ihrer anfänglichen Poſition gedreht worden, ſo beſitzt der aus dem Parallelepiped kommende Strahl wieder vollkommene Polariſation, und ſeine Polariſationsrichtung iſt dieſelbe, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped. Daß der bei dieſen verſchiedenen Stellungen des Parallelepipeds ſich ergebende Strahl von einem gemeinen, mehr oder minder unvollkommen polariſirten, weſentlich verſchieden ſey, zeigt ſich ſogleich, wenn man ihn in einem zweiten, dem erſteren gleichen Parallelepiped abermals zwei totale Reflexionen erleiden läßt, wobei er ſich ganz anders verhält, wie gemeines theilweiſe polariſirtes Licht.

Stellt man nämlich die Reflexionsebenen beider Parallelepipede einander parallel, ſo erhält man den aus dem erſten heraustretenden Strahl nach der Einwirkung der zweiten wieder in polariſirtem Zuſtande, nur zeigt ſich ſeine Polariſationsebene von der anfänglichen um das Doppelte des Winkels abgelenkt, den die gemeinſchaftliche Reflexionsebene der Parallelepipede mit jener des Polariſationsſpiegels macht. Stellt man aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds gegen die des erſten ſenkrecht, ſo erlangt der Strahl, welche Stellung ſonſt die Parallelepipede haben mögen, ſeine urſprüngliche Polariſationsrichtung zurück. Was insbeſondere den Fall betrifft, wenn das erſte Parallelepiped gegen die Reflexionsebene des Spiegels um 45° verſchoben iſt, ſo verwandelt ſich das dadurch ſcheinbar entpolariſirte Licht bei jeder Stellung des zweiten Parallelepipeds in vollkommen polariſirtes Licht, und ſeine Polariſationsebene macht ſtets mit der Reflexionsebene des letztern Parallelepipeds einen Winkel von 45°, ein Verhalten, das von dem des gemeinen unpolariſirten Lichtes gänzlich abweicht.

334. Geleitet durch die Undulationstheorie hat Fresnel die Natur der Veränderung, welche das polariſirte Licht bei der totalen Reflexion erfährt, auf das Entſchiedenſte erkannt, ja es war nur durch die Theorie möglich, die Geſtalt des Glasparallelepipedes auszumitteln und die Umſtände anzugeben, unter welchen eine zweimalige totale Reflexion eines polariſirten Lichtſtrahles denſelben gänzlich entpolariſirt, ohne ihn doch in gemeines Licht umzuwandeln. Die Lücken, welche Fresnel noch übrig ließ, indem er manchmal eine höchſt ſinnreich ausgedachte Vermuthung an die Stelle einer ſtrengen Demonſtration ſetzte, wurden von Cauchy ergänzt, ſo daß die Theorie dieſer Claſſe optiſcher Erſcheinungen als vollendet betrachtet werden darf. Aus dieſer Theorie geht hervor, daß wenn zwei Lichtſtrahlen, wovon einer in der Einfallsebene, der andere ſenkrecht gegen dieſe Ebene polariſirt iſt, zugleich eine totale Reflexion erleiden, in der relativen Anordnung der Phaſen, die durch dieſe Strahlen fortgepflanzt werden, eine Aenderung vor ſich geht, ſo daß nach der Reflexion die Phaſe des erſteren im Vergleiche mit der Phaſe des anderen Strahles um eine gewiſſe, durch Rechnung beſtimmbare Differenz verzögert er-

ſcheint. Dieſe Verzögerung beträgt im Glaſe vom Brechungsindex 1,5, bei dem Einfallswinkel von 48° oder auch von 54° gerade $^1/_8$ einer Schwingung, mithin nach zwei ſolchen Reflexionen $^1/_4$ einer Schwingung. Durch eine einzige totale Reflexion im Glaſe kann der Phaſenunterſchied nicht ſo groß gemacht werden. Was hier überhaupt von zwei polariſirten Strahlen geſagt wurde, gilt insbeſondere von den zwei parallel und ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Componenten, in die ein polariſirter Strahl, deſſen Polariſationsebene mit der Reflexionsebene des Fresnel'ſchen Parallelepipedes einen ſchiefen Winkel macht, zerlegt werden kann; iſt dieſer Winkel die Hälfte eines Rechten, ſo beſitzen die zwei Componenten gleiche Intenſitäten, und da ſie durch die zwei totalen Reflexionen eine Phaſendifferenz von einem Viertel einer Undulation erhalten, ſo ſetzen ſich dieſelben bei dem Austritte aus dem Parallelepipede zu einem Strahle zuſammen, in welchem die Aethertheilchen (I. 403) in kreisförmigen Bahnen ſchwingen. Ein ſolcher Strahl wird ein circular polariſirter genannt, zum Unterſchiede vom bisher betrachteten Polariſationszuſtande des Lichtes, welcher die geradlinige Polariſation heißt. Macht die Polariſationsebene eines Lichtſtrahles mit der Reflexionsebene des Fresnel'ſchen Parallelepipeds einen anderen ſchiefen Winkel als 45°; ſo erhalten die Componenten dieſes Strahles ungleiche Intenſitäten, und die Schwingungen der Aethertheilchen in dem aus dem Parallelepipede kommenden Strahle erfolgen nicht in kreisförmigen, ſondern in elliptiſchen Bahnen, es entſteht alſo ein ſogenannter elliptiſch polariſirter Strahl. Nach dieſer Theorie iſt nun leicht vorauszuſehen, was mit einem polariſirten Strahle geſchehen muß, wenn er nach einander durch zwei in gegebenen Stellungen befindliche Fresnel'ſche Parallelepipede geſendet wird.

Es ſey A (Fig. 331) ein Punct in der Richtung des einfallenden geradlinig polariſirten Lichtſtrahles, AP der Durchſchnitt der Polariſationsebene desſelben mit einer auf die Richtung des Strahles ſenkrechten Ebene (der Ebene der Zeichnung), AF die Reflexionsebene eines Fresnel'ſchen Parallelepipedes. Stellt AB die Amplitude der Schwingungen im Lichtſtrahle vor, welche ſenkrecht gegen AP erfolgen, und zerlegt man AB in AD und AE, ſo wird AD gegen AE um $^1/_4$ einer Schwingung verzögert. Tritt der Strahl in ein zweites Parallelepiped, deſſen Reflexionsebene die Lage der vorigen hat, ſo ſteigt die Verzögerung von AD auf eine halbe Undulation, und es iſt zur Beſtimmung der Schwingungsrichtung für den austretenden Strahl die Componente AD mit der gerade entgegengeſetzten AD′ zu vertauſchen; ſonach erſcheint jetzt AB′ als Schwingungsrichtung und AP′ als Polariſationsrichtung dieſes Strahles. Wie man leicht ſieht, iſt der Winkel P′AF gleich PAF, alſo P′AP = 2FAP. Wäre aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds auf jener des erſteren ſenkrecht, ſo würde auch AE um $^1/_4$ Schwingung verzögert; die Stellung der Phaſen der beiden Componenten bleibt in ſolchem Falle ungeändert, und es erhält ſonach der Strahl ſeine urſprüngliche Polariſation zurück.

335. Die Aethertheilchen, durch deren Schwingungen circular oder elliptiſch polariſirtes Licht fortgepflanzt wird, können ihre auf der Richtung des Strahles ſenkrechten Bahnen in zweierlei entgegengeſetztem Sinne durchlaufen. Hierauf beruht der Unterſchied zwiſchen rechts und links circular oder elliptiſch polariſirtem Lichte. Nachſtehende Erörterung wird die mit dieſen Benennungen zu verbindenden Begriffe feſtſetzen. Man denke ſich einen nach horizontaler Richtung in das Auge eindringenden Lichtſtrahl als Axe der von den Aethertheilchen zu beſchreibenden, z. B. kreisförmigen Bahnen, und nehme an, dieſe Theilchen durchlaufen die obere Bahnhälfte von der Linken gegen die Rechte, folglich die untere von der Rechten gegen die Linke. Da die ſchwingenden Theilchen von der Welle, die ſie fortpflanzen helfen, um ſo eher erreicht werden, je weiter ſie vom Auge abſtehen, mithin die entfernteren in einem beſtimmten Augenblicke, im Vergleiche mit den näheren, ſich in früheren Phaſen befinden; ſo iſt klar, daß eine, in irgend einem Momente durch alle ſchwingenden Theilchen gelegte Linie auf der Oberfläche des Cylinders, den alle Bahnen zuſammengenommen geben, eine Schraubenlinie darſtellt, und zwar in dem vorliegenden Falle eine rechtsgewundene, die auch rechtsgewunden bleibt, wenn man den Strahl von einem andern Standpuncte betrachtet, z. B. nach der gerade entgegengeſetzten Richtung, wobei die andere Seite der Bahnen dem Auge zugekehrt iſt, daher die Bewegung der Theilchen in der oberen Bahnhälfte von der Rechten gegen die Linke gerichtet erſcheint. Das Rechtsgewundenſeyn dieſer Schraubenlinie beſtimmt den Charakter des rechts polariſirten Strahles. Indem derſelbe in das Auge eindringt, bewegt ſich dieſe Schraubenlinie ſo wie eine gewöhnliche rechte Schraube, die man einſchraubt. Bei entgegengeſetzter Bewegung der Aethertheilchen in ihren Bahnen iſt die Verbindungslinie ihrer gleichzeitigen Orte eine linksgewundene Schraubenlinie und der Strahl iſt ein links polariſirter. Da bei der totalen Reflexion ein in der Einfallsebene polariſirter Strahl rückſichtlich eines ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten der Phaſe nach verzögert wird, ſo iſt nicht ſchwer einzuſehen, daß ein Fresnel'ſches Parallelepiped, durch welches ein urſprünglich geradlinig polariſirter Strahl zu dem Auge geht, dieſen in einen rechts oder links polariſirten verwandelt, je nachdem die Reflexionsebene des Parallelepipeds von der Polariſationsebene des Strahles, vom Scheitel des ſpitzigen Winkels beider angeſehen, nach der Linken oder nach der Rechten abweicht.

336. Das geradlinig polariſirte Licht wird, wie Brewſter entdeckt hat, durch Reflexion von einer polirten Metallfläche in den Zuſtand der elliptiſchen Polariſation verſetzt. Fällt z. B. ein geradlinig polariſirter Strahl auf eine polirte Stahlplatte unter einem Winkel von 75° in einer Ebene, die um 45° gegen die Polariſationsebene geneigt iſt; ſo erſcheint der reflectirte Strahl nicht mehr geradlinig polariſirt, denn er gibt bei der Analyſe mit einem Doppelſpathe ſtets zwei Bilder, er iſt auch kein natürlicher und kein unvollkommen pola-

riſirter Strahl, denn er erſcheint nach einer abermaligen Reflexion an einer zweiten Stahlplatte unter 75°, bei dem Winkel von 45° zwiſchen der Reflexionsebene und der urſprünglichen Polariſationsebene, geradlinig polariſirt, und die neue Polariſationsebene macht mit der früheren einen Winkel von 17°. Die Natur dieſes Strahles gibt ſein Verhalten nach zwei totalen Reflexionen in Fresnel's Parallelepiped deutlich zu erkennen, ſo wie umgekehrt ein aus dieſem Parallelepiped heraustretender urſprünglich geradlinig polariſirter Strahl ſich bei Reflexionen an Metallflächen wie ein durch Metallflächen ſelbſt modificirter Strahl verhält. Auch ein circular polariſirter Strahl wird nicht bloß durch fernere totale Reflexionen in Glas, ſondern gleichfalls durch eine oder mehrere Reflexionen von Metallflächen auf den geradlinigen Polariſationszuſtand zurückgeführt, wenn die Einfallswinkel bei dieſen Metallflächen kleiner ſind als der Winkel der vollkommen elliptiſchen Polariſation, und alle Reflexionsebenen einander parallel ſind. Es werden daher in der That Reflexionen von Glas durch Reflexionen von Metall vertreten. Die Theorie gibt von allen dieſen Phänomenen, welche in einer Aenderung des Verhältniſſes der Phaſen der Componenten des urſprünglichen Strahles durch die Reflexion an den Metallflächen ihren Grund haben, genaue Rechenſchaft, und verhilft zur vollſtändigen Ueberſicht der Geſetze, an welche dieſe Erſcheinungen gebunden ſind. Neumann hat hier die Bahn gebrochen, Cauchy die vollſtändige analytiſche Entwicklung gegeben. (S. Pogg. Ann. 26. 89; 39. 40.)

337. Geradlinig polariſirtes Licht, welches auf eine Platte aus einer das Licht doppelt brechenden Subſtanz fällt, tritt aus derſelben nach Maßgabe der Dicke der Platte und der Incidenz des Strahles, elliptiſch oder circular oder geradlinig polariſirt heraus. Es ſey nämlich ABCD, (Fig. 332) der Durchſchnitt einer ſolchen Platte, EF ein darauf fallender geradlinig polariſirter Lichtſtrahl, der bei ſeinem Eintritte in dieſelbe in zwei ſenkrecht gegen einander polariſirte Strahlen FG und FH geſpalten werde, welche letzteren an der Fläche DC bei G und H der Richtung des einfallenden Strahles parallel nach Gx und Hy austreten. Trifft nebſt EF ein Bündel Strahlen von derſelben Richtung die Platte, ſo iſt ein zweiter Strahl E′F′ vorhanden, der bei dem Eintritte in F′G und F′G′ zerfällt, ſo daß der Strahl F′G zugleich mit FG nach der Richtung Gx die Platte verläßt. Da die zwei Strahlen, welche den Strahl Gx zuſammenſetzen, ſich im Allgemeinen wegen der Schiefe der Incidenz auf AB und wegen der ungleichen und mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten zurückgelegten Wege in verſchiedenen Schwingungsphaſen und in entgegengeſetztem Polariſationszuſtande mit einander vereinigen; ſo geht aus ihrer Interferenz eine elliptiſche Schwingung hervor, die in beſonderen Fällen circular, auch geradlinig ausfallen kann. Hierauf läßt ſich eine Methode gründen, ſich circular polariſirtes Licht zu verſchaffen. Glimmer, den man leicht in Platten von ſchicklicher Dicke ſpalten kann, eig-

net ſich beſonders gut hiezu. Auch gekühltes oder gepreßtes Glas läßt ſich, wie Dove gezeigt hat, dazu verwenden.

338. Leitet man weißes polariſirtes Licht durch ein nicht zu dickes Plättchen aus einer das Licht doppelt brechenden Subſtanz, als: Kalkſpath, Quarz, Gips, Glimmer u. dgl. und hierauf auf einen Körper, der zwei entgegengeſetzt polariſirte Componenten des Lichtes von einander zu ſondern vermag, z. B. ein Doppelſpathprisma, ein Syſtem paralleler Glastafeln, einen geſchwärzten Spiegel, eine Turmalinplatte, ein Nicol'ſches Prisma u. dgl., ſo zeigt ſich das Kryſtallplättchen bei ſchicklicher Lage gefärbt. Die Farbe, welche man da wahrnimmt, richtet ſich nach der Natur und Dicke des Plättchens. Ueber eine gewiſſe Dicke hinaus findet aber keine Färbung desſelben Statt. Neigt man das Plättchen gegen das einfallende Licht, damit dieſes ſchief durch das Plättchen gehe, ſo ändert ſich die Farbe, als wäre das Plättchen dicker geworden. Dreht man das Plättchen um das einfallende Licht, ſo ändert ſich nicht die Beſchaffenheit, wohl aber die Intenſität der Farbe, und es gibt vier Lagen des Plättchens, wo die Farben am intenſivſten, und vier andere, wo ſie am ſchwächſten (=0) ſind. Erſteres da, wo der Hauptſchnitt des Plättchens mit der urſprünglichen Polariſationsebene 45° macht, letzteres, wo dieſer Winkel 0 oder 90° iſt. Bedient man ſich zur Betrachtung des Plättchens eines Syſtems paralleler Glastafeln, ſo iſt die Farbe des Plättchens im durchgelaſſenen Lichte ſtets die complementäre zu der im reflectirten, oder es geht die Farbe des Plättchens in die complementäre über, wenn man die Glastafeln, ohne den Einfallswinkel des Lichtes zu ändern, um 90° dreht. Wendet man ſtatt der Gläſer einen Doppelſpath an, ſo ſieht man zwei farbige Bilder auf einmal, und ihre Farben, die ebenfalls bei Drehung des Hauptſchnittes in die complementären übergehen, ergänzen ſich da, wo ſie ſich decken, fortwährend zu Weiß.

Die Beſtändigkeit der Farbe eines Glimmerplättchens von beſtimmter Dicke im polariſirten Lichte, und die mit der Neigung desſelben gegen den einfallenden Strahl durch alle Zwiſchenſtufen erfolgende Farbenänderung geben ein gutes Mittel zur Conſtruction eines Farbenmeſſers. — In die Reihe dieſer Farbenerſcheinungen gehören auch diejenigen, welche Kryſtalle im polariſirten Lichte darbieten, die, von zwei Seiten angeſehen, auch zwei verſchiedene Farben zeigen, wie z. B. Beryll. Schneidet man von der bläulich grünen Varietät dieſes Minerals ein dreiſeitiges Prisma, damit die durch doppelte Brechung entſtandenen Strahlenbüſchel hinreichend von einander getrennt erſcheinen, und läßt weißes polariſirtes Licht darauf fallen; ſo gehen bloß blaue Strahlen durch, wenn die Axe des Kryſtalls auf der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes ſenkrecht ſteht, hingegen grünlich weiße, wenn die Axe mit dieſer Ebene parallel iſt. Dreht man das Prisma allmälig von der erſten Lage in die zweite, ſo geht auch das durchgelaſſene Licht ſucceſſiv von Blau in Grünlichweiß über. Ein ähnliches Verhalten bemerkte Brewſter, dem wir die Kenntniß dieſer Erſcheinung überhaupt verdanken, am Zirkon, Saphyr, Smaragd, Amethyſt, Turmalin ꝛc.

339. Alle Erſcheinungen dieſer Art erklären ſich einfach daraus, daß der zur Analyſe des aus dem Kryſtallplättchen austretenden Strahles angewandte Apparat jeden der beiden entgegengeſetzt polariſirten Beſtandtheile dieſes Strahles (337) in zwei Componenten zerlegt, wovon die eine in Schwingungen in der Hauptſchnitts oder Reflexionsebene des analyſirenden Apparates, die andere in Schwingungen ſenkrecht gegen dieſe Ebene beruht. Hiedurch kommt nach jeder dieſer Richtungen eine Componente des einen Strahles mit einer Componente des andern zur Interferenz, woraus für jedes Paar ein Strahl reſultirt, deſſen Intenſität nebſt dem, daß ſie von dem urſprünglichen Einfallswinkel, von der Dicke des Plättchens, von der Lage der Polariſationsebene des einfallenden Strahles und der Hauptebene des analyſirenden Apparates gegen den Hauptſchnitt des Plättchens abhängt, für jede Wellenlänge eine andere iſt, wodurch das Miſchungsverhältniß der Beſtandtheile des weißen Lichtes abgeändert wird, ſo daß eine beſtimmte Farbe zum Vorſchein kommt. Es iſt leicht zu zeigen, daß die zwei durch den analyſirenden Apparat geſonderten Effecte, wie auch jene bei der Drehung ſeiner Hauptebene um 90°, ſich zu einander complementär verhalten. In der That ſind OA und OB (Fig. 333) die gleichzeitigen Schwingungsrichtungen und Amplituden der beiden aus dem Kryſtallplättchen austretenden entgegengeſetzt polariſirten Strahlen von einer beſtimmten Farbe, ferner xOx' und yOy' die Geraden, nach welchen die Schwingungen in Folge der Action des analyſirenden Apparates ſich zerlegen; ſo liefert OA die Amplituden OH und OK, OB die Amplitude OL und OM, mithin wird die Amplitude des Strahles, deſſen Schwingungen in xOx' fallen $= OH - OL$, jene des andern $= OK + OM$. Daher ergibt ſich für die Summe der Intenſitäten beider der Ausdruck $(OH - OL)^2 + (OK + OM)^2 = OH^2 + OK^2 + OL^2 + OM^2 - 2OH.OL + 2OK.OM$. Aber $OH^2 + OK^2 = OA^2$, $OL^2 + OM^2 = OB^2$ und wegen Aehnlichkeit der Dreiecke OAH, OBL, $OH : AH = BL : OL$, mithin $OH.OL = AH.BL = OK.OM$ und darum die Summe der Intenſitäten $= OA^2 + OB^2$. Es ergänzt ſonach die Intenſität des einen Strahles jene des andern zum vollen Werthe des aus dem Kryſtallplättchen austretenden Lichtes, woraus die Richtigkeit obiger Behauptung von ſelbſt folgt.

Unpolariſirtes, durch ein Plättchen aus einer doppelt brechenden Subſtanz geleitetes Licht gibt nach der Analyſe keine Farbenerſcheinungen, weil die auf einerlei Polariſationsebene gebrachten Componenten der Strahlen in allen möglichen Combinationen von Phaſen auftreten, in Folge der unendlich vielen, nach allen möglichen Richtungen polariſirten Strahlen, aus denen das unpolariſirte Licht beſtehend gedacht werden kann, ſo daß jeder Effect mit ſeinem complementären zuſammenfällt und durchgehends nur gleichfarbiges Licht von einerlei Intenſität erhalten wird.

340. Fällt auf ein Plättchen aus einer doppelt brechenden Materie polariſirtes Licht unter verſchiedenen Winkeln, und leitet man dasſelbe mittelſt eines zweiten polariſirenden Apparates in das Auge,

oder bei gehöriger Stärke des Lichtes auf einen Schirm im verfinſterten Zimmer; ſo entſpricht einer gewiſſen Folge von Incidenzen einerlei Färbung des Plättchens, und es zeigen ſich regelmäßig angeordnete Syſteme gleichfarbiger oder iſochromatiſcher Linien. Am einfachſten ſtellt man dieſe Linien dar, wenn man das Kryſtallplättchen zwiſchen zwei der Axe parallel geſchnittene Turmalinplättchen oder zwiſchen zwei Nicol'ſche Prismen bringt und hindurchſieht, oder wenn man die Zuſammenſtellung dieſer Plättchen in den Brennpunct einer Sammellinſe bringt, durch welche man mittelſt eines Helioſtats einen Bündel paralleler Sonnenſtrahlen ſendet, und die Erſcheinung im verfinſterten Zimmer auf einem Schirme auffängt. Nimmt man ein Plättchen aus einem einaxigen Kryſtall, z. B. ein Doppelſpathplättchen, das ſenkrecht gegen die Kryſtallaxe geſchnitten iſt; ſo ſieht man es, weil hier gleichen Neigungen gegen die Axe gleiche Interferenzphänomene entſprechen, mit farbigen concentriſchen Ringen geziert, die durch ein Kreuz unterbrochen erſcheinen. Dieſes Kreuz iſt rechtwinkelig und wenn die Axen der Turmalinplättchen ſenkrecht gegen einander ſtehen, ſchwarz (Fig. 334); wenn aber die Axen der Turmalinplättchen einander parallel ſind, weiß (Fig. 335). Bedient man ſich ſtatt der Turmalinplättchen zweier geſchwärzten Spiegel, ſo erſcheint das ſchwarze Kreuz, wenn die Reflexionsebenen der Spiegel einander ſenkrecht ſchneiden, und das weiße, wenn ſie mit einander übereinſtimmen. Im durchgelaſſenen Lichte, wenn der analyſirende Apparat ein Syſtem paralleler Glastafeln iſt, zeigt ſich bei jeder dieſer Stellungen die complementäre Figur der durch Reflexion erhaltenen; ein Doppelſpathprisma liefert beide Figuren zugleich. Aehnliche Ringe bemerkt man an ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Plättchen von Beryll, Turmalin u. dgl., nur erſcheinen die Ringe bei verſchiedenen, wenn auch gleich dicken Plättchen von verſchiedener Größe, und das Kreuz iſt bald mehr bald minder deutlich zu ſehen; bei einigen Plättchen, wie z. B. bei denen von Apophyllit oder unterſchwefelſaurem Kalke, weicht die Farbenfolge von der in den gewöhnlichen Fällen Statt findenden ſtark ab. Der Bergkryſtall bildet unter den einaxigen Körpern eine Ausnahme, von der ſpäter die Rede ſeyn wird. Vollkommen homogene Plättchen kann man um ihre eigene Axe drehen, ohne daß dadurch eine Aenderung der Ringe oder des Kreuzes bemerklich würde, aber der kleinſte Mangel an Homogeneität offenbart ſich durch eine Verzerrung der Ringe oder durch eine Biegung der Arme des Kreuzes. Bei demſelben Plättchen erſcheint ein Ring deſto größer, je dünner die Platte iſt, und zwar wachſen die Ringdurchmeſſer verkehrt wie die Quadratwurzeln der Plättchendicke. Nicht genau ſenkrecht gegen die Axe der doppelten Brechung geſchnittene Plättchen zeigen ovale Ringe. An Plättchen aus zweiaxigen Kryſtallen erſcheint das Phänomen dieſer Farbenringe ganz verſchieden. Iſt ein ſolches Plättchen ſenkrecht auf die Linie geſchnitten, welche den Winkel beider Axen halbirt und in ihrer Ebene liegt, ſo ſieht man die Ringe, wie Fig. 336, falls die beiden Axen, wie z. B. bei dem Salpeter, einen

kleinen Winkel einſchließen, ſo daß man ihre Pole, die den Mittelpuncten der Ringe entſprechen, zugleich im Geſichtsfelde hat, und die urſprüngliche Polariſationsebene des Lichtes mit der Ebene der zwei Axen zuſammenfällt. Dreht man das Plättchen um $22^1/_2$°, ſo nehmen die Ringe die Geſtalt, Fig. 337, bei einer Drehung von 45° die Geſtalt Fig. 338 an, und dieſelben Veränderungen erleiden ſie bei jeder fernern Drehung von 45°. Bei Plättchen aus Kryſtallen, deren Axen einen gar großen Winkel einſchließen, wie z. B. aus Arragonit, erſcheint gar nur ein Phänomen, wie es Fig. 339 darſtellt. Dieſe Erſcheinungen ändern ſich, wenn man ſtatt des geradlinig polariſirten Lichtes circular oder elliptiſch polariſirtes anwendet. Wird z. B. ein ſenkrecht gegen die Kryſtallaxe geſchnittenes Plättchen aus Kalkſpath polariſirtem Lichte ausgeſetzt, das vorher durch ein Fresnel'ſches Parallelepiped gegangen iſt, deſſen Reflexionsebene mit der Polariſationsebene des Lichtes einen Winkel von 45° macht, oder durch ein Glimmerplättchen von ſchicklicher Dicke und Stellung; ſo verſchwindet das ſchwarze Kreuz und die Ringe erſcheinen, wie Fig. 340 zeigt, in vier Quadranten getheilt, die abwechſelnd um eine halbe Ringbreite gegen den Mittelpunct vor- und zurückgeſchoben ſind. Durch Drehen des Unterſuchungsapparates werden bloß die Theilungslinien der Quadranten gedreht, ſonſt aber an der Figur nichts geändert. Wendet man das Parallelepiped gegen die andere Seite der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes, ſo daß es wieder mit dieſer den Winkel von 45° macht, ſo verändert ſich die Erſcheinung bloß im Verhältniſſe von Rechts zu Links. Plättchen aus zweiaxigen Kryſtallen verhalten ſich auf analoge Weiſe. Läßt man das circular polariſirte in ein Kalkſpathplättchen, wie vorhin, einfallende Licht, ehe es zum Unterſuchungsapparate kommt, noch einmal durch ein mit dem erſteren übereinſtimmend geſtelltes Fresnel'ſches Parallelepiped gehen, ſo erhält man bei den Hauptſtellungen des Unterſuchungsapparates wieder Kreiſe, jedoch ohne Kreuz und mit einem dunklen oder lichten Fleck im Mittelpuncte. In homogenem Lichte ſieht man in allen dieſen Fällen ſehr zahlreiche Ringe von der Farbe des angewendeten Lichtes, die durch dunkle Zwiſchenräume unterbrochen ſind. Die Durchmeſſer der Ringe ſind für verſchiedene Farben verſchieden, und zwar nehmen ſie von der rothen Farbe des Spectrums gegen die violette hin ab, ein Umſtand, welcher lehrt, daß das Phänomen im weißen Lichte bloß das Reſultat des gleichzeitigen Eintretens und der Uebereinanderlagerung der Erſcheinungen iſt, die den verſchieden brechbaren Beſtandtheilen des weißen Lichtes angehören. Dieſe Uebereinanderlagerung vermindert die Anzahl der Ringe, hebt ſie ſogar in manchen Fällen gänzlich auf, ſo daß man die iſochromatiſchen Curven nur bei Anwendung homogenen Lichtes ſieht. Solches verſchafft man ſich am leichteſten mittelſt einer Weingeiſtlampe, deren Docht man mit Kochſalz beſtreut.

Aus dem ſo eben Geſagten wird man nun leicht entnehmen, warum die Farbenringe um ſo näher an einander gerückt erſcheinen, je grö-

ßer ſie werden, denn bei ſchieferer Incidenz wird der Gangunterſchied der Strahlen größer, und variirt mit wachſender Schiefe raſcher; warum eine Doppelſpathplatte dieſer Art ein ſchwarzes oder weißes Kreuz zeigt, je nachdem die Hauptebene des polariſirenden und analyſirenden Apparates ſich kreuzen oder zuſammenfallen, und warum die Arme dieſes Kreuzes nach dieſen Hauptebenen gerichtet ſind; denn Strahlen, die in dieſer Hauptebene vom Polariſationsapparate zur Kryſtallplatte kommen, erleiden keine doppelte Brechung, womit auch die Interferenz von den ſonſt vorhandenen zwei Strahlentheilen wegfällt u. dgl. Ja ſelbſt die Hauptformen der Erſcheinungen im circularen oder elliptiſchen Lichte laſſen ſich ohne Rechnung vorausſehen; allein zur vollſtändigen quantitativen Erörterung dieſer Phänomene iſt die mathematiſche Behandlung unerläßlich. Sie wurde für Platten einariger Kryſtalle, ſenkrecht auf die Axe geſchnitten, von Airy (S. Pogg. Ann. 23. 204) ausführlich gegeben. Nach anderen Richtungen geſchnittene Platten behandelte Müller (a. a. O. 33 282; 35. 95. 261). Ueber die Farbenerſcheinungen an zweiaxigen Kryſtallen ſ. Neumann in Pogg. Ann 33. 257.

341. Derlei Erſcheinungen beobachtet man ſehr bequem mit Hilfe des ſogenannten Polariſations-Inſtrumentes. Unter den mannigfaltigen Einrichtungen, welche man demſelben gegeben hat, dürfte die durch Fig. 341 vorgeſtellte, welche die Vortheile des Nörrenberg'ſchen und Airy'ſchen Polariſations-Inſtrumentes in ſich vereinigt, die paſſendſte ſeyn. Die Beſtandtheile desſelben, welche von dem aus zwei verticalen Säulen gebildeten Geſtelle getragen und in verſchiedenen Combinationen gebraucht werden, ſind: Die polariſirende Glasplatte A; der horizontale Spiegel B; das Tiſchchen C für die zu unterſuchenden Objecte; der Träger D für den Analyſirungsapparat, der nach Umſtänden ein geſchwärzter, unter 35° 25′ gegen die Verticallinie geneigter Spiegel, oder ein eben ſo geſtelltes Syſtem paralleler Glastafeln, oder ein Turmalinplättchen, ein achromatiſirtes Doppelſpathprisma, ein Nicol'ſches Prisma u. dgl. ſeyn kann; die Beleuchtungslinſen E und F, dann noch zwei Ocularlinſen (beide Sammelgläſer), wovon eine über die Oeffnung des Trägers D und die zweite vor den oberen ſchwarzen Spiegel, falls derſelbe angewendet wird, zu ſtehen kommt. Die polariſirende Platte A wird gegen die Verticalrichtung unter dem Winkel von 35° 25′ geſtellt, und nimmt, je nachdem ihr oberer Theil einwärts oder auswärts gekehrt iſt, das Tageslicht oder das Licht einer Lampe entweder mit ihrer oberen Fläche auf und reflectirt es nach oben, oder das Licht fällt auf die untere Fläche der Platte, wird von dieſer dem horizontalen Spiegel B zugeſendet, der es durch die Platte A hindurch aufwärts wirft. Sollte das Tageslicht nicht günſtig einfallen, ſo kommt man noch mit einem vor das Inſtrument geſtellten Beleuchtungsſpiegel zu Hilfe. Setzt man auf D den ſchwarzen Spiegel oder einen andern der vorgenannten Analyſirungsapparate, ſo kann man bei dem Drehen desſelben um eine verticale Axe ſogleich den Wechſel der Lichtintenſität im Geſichtsfelde des Apparates beobachten. Zum Behufe der Grundverſuche über die circuläre und elliptiſche Polariſation ſtellt man ein oder zwei Fres-

nel'ſche Parallelepipede auf den Tiſch C. Um die gleichmäßige Färbung der Kryſtallplättchen unter dem Einfluſſe paralleler Strahlen wahrzunehmen, bringt man ſelbe auf den Tiſch C, den man nach Wunſch neigen und in ſeiner eigenen Ebene drehen kann. Um die Farbenringe der Kryſtallplättchen zu ſehen, legt man ſelbe entweder auf den Spiegel B und ſetzt die Linſe E ſo über ſelbe, daß die Plättchen ſich im Brennpuncte derſelben befinden, und betrachtet ſie mit einem der Analyſirungsapparate, oder man gibt eine Sammellinſe in die Oeffnung des Trägers D, bringt den Tiſch C in ihre Brennweite, legt das Kryſtallplättchen darauf, ſtellt die Linſe F in die Brennweite darunter, und betrachtet das Phänomen mittelſt einer vor den analyſirenden Apparat, am beſten vor den ſchwarzen Spiegel gehaltenen Sammellinſe. Die Linſe F macht die auf ſelbe fallenden parallelen Strahlen convergirend, dieſe gehen durch das Kryſtallplättchen, werden von der Linſe in D parallel, und nach der Reflexion vom Spiegel durch die Ocularlinſe wieder convergirend gemacht. Das Auge muß hiebei in dem Vereinigungs-Puncte der Strahlen ſtehen. Man kann auf dieſe Weiſe die Farbenringe mittelſt der kleinſten Kryſtallplättchen ſehen. Alle Gegenſtände, welche auf den Spiegel B gelegt werden, wirken ſo, als ob ſie mit ihrem Bilde vereinigt wären, d. h. doppelte Dicke hätten, und die Linſe E vertritt die Stelle von zweien.

Das in die durchſichtige Platte A eindringende, nach der Brechung an deren Hinterfläche reflectirte Licht trifft dieſe in Folge des in 328 angegebenen Geſetzes gleichfalls unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation und verſtärkt daher die Wirkung. Der Polariſationswinkel iſt aber nicht für alle einfache Strahlengattungen derſelbe, daher auch im Zerlegungsapparate bei weißem Lichte kein vollkommen dunkles Geſichtsfeld möglich iſt. Ein Ueberzug von Feuchtigkeit der polariſirenden Platte oder des oberen Spiegels, z. B. durch Anhauchen, ändert den Polariſationswinkel, mithin auch den Effect, und das früher dunkle Geſichtsfeld wird heller.

342. Ein von den übrigen einaxigen Kryſtallen gänzlich abweichendes Verhalten im polariſirten Lichte zeigt der Bergkryſtall. An einem ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Plättchen aus dieſem Körper erſcheint bei der oben beſchriebenen Beobachtungsweiſe kein dunkles Kreuz, ſondern höchſtens Spuren davon an den äußern Farbenringen, in der Mitte aber bemerkt man einen farbigen Fleck, deſſen Farbe bei der Drehung der Polariſationsebene des Unterſuchungsapparates wechſelt. Unterſucht man die Erſcheinung im gleichfarbigen Lichte, ſo ergibt ſich eine eigenthümliche Einwirkung des Plättchens auf das parallel mit ſeiner optiſchen Axe, d. h. ſenkrecht auf ſeine Flächen hindurchgeleitete geradlinig polariſirte Licht. Es kommt nämlich dieſes Licht wohl wieder im Zuſtande der geradlinigen Polariſation aus dem Plättchen, aber ſeine Polariſationsebene iſt gegen die urſprüngliche um einen gewiſſen von der Dicke des Plättchens abhängenden Winkel gedreht, und es iſt der Drehungswinkel bei gleicher Dicke

für Strahlen von verſchiedener Farbe ein anderer. Hieraus wird der Farbenwechſel bei Anwendung weißen Lichtes begreiflich. Höchſt intereſſant iſt der Umſtand, daß bei Plättchen von gleicher Dicke die Drehung der Polariſationsebene einer jeden Lichtſorte in verſchiedenem Sinne erfolgen kann, nämlich Plättchen aus gewiſſen Bergkryſtall-Individuen, je dicker man ſie nimmt, um ſo mehr rechts drehend, aus anderen links drehend wirken, und daß ſchon der bloße Anblick der Kryſtallgeſtalt des Individuums, aus welchem das Plättchen genommen wird, an beſonders gelagerten trapezförmigen Flächen, die ſich häufig nächſt den Combinationskanten des ſechsſeitigen Prisma's mit der Endpyramide vorfinden, und bald von rechts nach links, bald umgekehrt liegen, auf die Richtung der Drehung zu ſchließen geſtattet. Legt man zwei Plättchen von gleicher Dicke, wovon eines rechts drehend, das andere links drehend auf die Polariſationsebene des Lichtes wirkt, über einander, ſo erblickt man im polariſirten Lichte die von Airy entdeckte, mit vier vom Mittelpuncte der Farbenringe auslaufenden Spiralen verſehene Fig. 342. Bei dem oben beſchriebenen Polariſations-Inſtrumente genügt es, eine Quarzplatte auf den von Nörrenberg eingeführten horizontalen Spiegel zu legen und die Sammellinſe darüber zu halten; das Bild der Platte vertritt die Anweſenheit der zweiten entgegengeſetzt drehenden von gleicher Dicke. Gewiſſe Quarzkryſtalle liefern Plättchen, die zugleich rechts und links drehen. Eben ſo wie der Bergkryſtall im Sinne ſeiner Axe, wirkt auch eine Säule von Terpentinöhl, Citronenöhl, eine Löſung von Zucker, Dextrin, jedoch iſt der Drehungswinkel der Polariſationsebene verſchieden nach Maßgabe der Natur der Subſtanz, ihrer Dicke und der Brechbarkeit des Lichtes. So z. B. wird nach Biot die Polariſationsebene eines gewiſſen rothen Strahls (den mit Kupferoxyd gefärbtes Glas durchläßt) durch eine fünf Millimeter dicke Quarzplatte um 92°, durch eine eben ſo dicke Terpentinſäule um 14°, 3′, durch eine Citronenöhlſchichte um 21°, 8′ gedreht. Terpentinöhl (im tropfbaren Zuſtande oder als Dampf), Lorbeeröhl, eine Löſung von Traubenzucker, der noch nicht feſt war, drehen die Polariſationsebene zur Linken; Citronenöhl, eine Löſung von Traubenzucker, der ſchon feſt war, Rohrzucker, Dextrin, Runkelrübenſaft ꝛc. von der Linken zur Rechten, ſo daß man dieſe Eigenſchaft zur Prüfung der Subſtanzen auf Zucker benützen kann.

343. Die Drehung der Polariſationsebene eines durch ein ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenes Bergkryſtallplättchen in paralleler Richtung mit der Axe gehenden Lichtſtrahles hat in der eigenthümlichen Beſchaffenheit des Bergkryſtalles ihren Grund, in Folge deren derſelbe längs ſeiner Axe nur circulare Schwingungen fortzupflanzen vermag, und zwar rechts und links vor ſich gehende Schwingungen mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortpflanzt. Ein geradlinig polariſirter Strahl kann aus zwei entgegengeſetzt circular polariſirten Strahlen beſtehend gedacht werden, da ſich jede geradlinige Schwingung in zwei entgegengeſetzte circulare zerlegen läßt. Tritt

nun ein geradlinig polariſirter Strahl in ein Bergkryſtallplättchen von der erwähnten Art, ſo ſtehen die beiden circularen Beſtandtheile desſelben bei dem Austreten in einer Phaſendifferenz; indem ſie ſich wieder zu einer geradlinigen Schwingung zuſammenſetzen, wird die Richtung dieſer eine andere ſeyn. Verſchiedene Bergkryſtall-Individuen unterſcheiden ſich dadurch, daß einige rechts circulares, andere links circulares Licht mit größerer Geſchwindigkeit fortpflanzen. Hieraus erklärt ſich die Drehung der Polariſationsebene im entgegengeſetzten Sinne, die gleich dicke Platten aus verſchiedenen Bergkryſtall-Individuen bewerkſtelligen. Die eigenthümliche drehende Wirkung gewiſſer tropfbar flüſſiger Subſtanzen auf die Polariſationsrichtung des durch ſelbe geleiteten Lichtes muß eben ſo erklärt werden. Die verſchiedene Geſchwindigkeit des Lichtes längs der Axe des Bergkryſtalles wurde übrigens von Fresnel, dem wir obige Erklärung verdanken, durch directe Verſuche bekräftigt, indem es ihm gelang, die beiden entgegengeſetzt polariſirten Strahlen mittelſt eines aus rechts und links drehenden Prismen zuſammengeſetzten rechtwinkligen Parallelepipeds zu trennen, und ihren circularen Polariſationszuſtand nachzuweiſen. (Pogg. Ann. 21. 276.)

344. So wie ungleichförmig erwärmtes oder ſchnell gekühltes oder gepreßtes Glas das Vermögen erlangt, das Licht doppelt zu brechen, eben ſo zeigt es im polariſirten Lichte, Farbenerſcheinungen, die auf der Interferenz der Componenten der durch doppelte Brechung entſtandenen Strahlen beruhen. Da aber hier die brechende Kraft von Theilchen zu Theilchen eine andere iſt, ſo wechſelt hiemit die Färbung von Stelle zu Stelle ſelbſt in einem Bündel paralleler Lichtſtrahlen. Erſcheinungen dieſer Art wurden zuerſt von Seebeck und Brewſter entdeckt. Hält man eine Platte von dickem Spiegelglaſe, die im Polariſationsinſtrumente keine Farben zeigt, an ſtark erhitztes Eiſen, ſo bemerkt man, zumal wenn man die Platte über den horizontalen Spiegel des genannten Inſtrumentes bringt und mit einem der Analyſirungsapparate unterſucht, daß in derſelben parallele Streifen (Fig. 343) entſtehen, ſo wie ſich die Wärme durch ſie fortpflanzt. Die Farben dieſer Streifen gehen alſogleich in die complementären über, wenn man den analyſirenden Apparat um 90° dreht, oder ſie bald im durchgelaſſenen, bald im reflectirten Lichte anſieht; ſie verlieren ſich aber ganz, wenn ſich die Wärme bereits gleichförmig in der ganzen Platte verbreitet hat. Es iſt in Betreff der Farben einerlei, ob man eine einzige dicke Platte oder mehrere dünne nimmt, die zuſammen jener an Dicke gleichen. Bekommt eine Platte während des Erwärmens einen Riß, ſo erſcheinen in jedem Stücke die Farben abgeſondert wie in einem Ganzen; verbindet man wieder beide Theile durch Kitt, ſo iſt es, als wäre nie ein Bruch erfolgt. Dieſelben Erſcheinungen ergeben ſich, nur in Betreff der Farbenfolge in umgekehrter Ordnung, wenn man heißes Glas an kaltes Eiſen anhält. Am leichteſten macht man dieſen Verſuch, wenn man ſich einer metallenen Rahme bedient, in welche ein Glaswürfel genau paßt. Erhitzt man die Rahme und legt

dann den Würfel hinein, ſo erſcheint im Polariſationsinſtrumente nach Maßgabe des Eindringens der Wärme in den Würfel eine farbige Zeichnung, wie Fig. 344 darſtellt; an den Ecken zeigen ſich Pfauenaugen, die durch ein ſchwarzes, oder bei geänderter Stellung des analyſirenden Apparates, wobei die complementäre Erſcheinung auftritt, durch ein weißes Kreuz getrennt ſind. Hat der Glaswürfel eine gleichförmige Temperatur angenommen, ſo iſt die Erſcheinung wieder verſchwunden; legt man aber jetzt den heißen Würfel in eine kalte Metallrahme, ſo beginnt das Farbenſpiel von Neuem. Dreht man die Rahme ſammt dem Würfel, ſo ergeben ſich andere ſehr gefällige Formen der Zeichnung. Man kann dieſe Erſcheinung ſehr einfach hervorrufen, wenn man einen Glaswürfel, der im polariſirten Lichte keine Farben zeigt, mit einer Drahtlage umgibt, ſo daß bloß die obere und untere Fläche unbekleidet bleibt, und ihn ſodann über einer Spiritusflamme erhitzt. Ein Glascylinder auf gleiche Weiſe behandelt, zeigt ein Kreuz mit concentriſchen Farbenringen, ähnlich der Figur an einem ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Kalkſpathplättchen. Man kann auch den Glaskörper mit einer Höhlung verſehen und heißes Queckſilber hineingießen. Alle dieſe Farbenerſcheinungen laſſen ſich bleibend machen, wenn man das ſtark erhitzte Glas raſch abkühlt, und dadurch die Anordnung der Theilchen, welche bei ungleicher Erwärmung Statt findet, fixirt. Mehrere ſchnell gekühlte, über einander gelegte quadratiſche Glasplatten vertreten einen maſſiven Würfel vollkommen. Endlich kann man dem Glaſe die hier betrachtete Eigenſchaft noch durch äußeren Druck beibringen. Nimmt man einen Glaswürfel, der im polariſirten Lichte keine beſondere Farbe zeigt, gibt ihn in eine kleine Preſſe, drückt ihn mäßig zuſammen, und betrachtet ihn mittelſt des Polariſationsinſtrumentes; ſo zeigt ſich eine Farbenerſcheinung, die nach Beſchaffenheit der Stärke des Druckes ſich ändert. Sehr regelmäßig ſtellt ſich die Zeichnung dar, wenn die Preſſe den Würfel bloß an zwei einander gegenüber liegenden Stellen drückt. Aehnliche Erſcheinungen bringt man auch durch Dehnen des Glaſes zu Stande. Biegt man einen Glasſtreifen, ſo ſieht man ihn an der ſchmalen Seite im polariſirten Lichte mit parallelen Farbenſtreifen, die in der Mitte durch eine ſchwarze Linie verbunden ſind. Auch während man einen Glasſtab zum Tönen bringt, wirkt er doppelt brechend auf das Licht, wie die Beobachtung mittelſt des Polariſationsinſtrumentes lehrt. Eine ſenkrecht auf die Axe geſchnittene, an zwei gegenüber liegenden Puncten der Seitenfläche gepreßte Quarzplatte, zeigt im polariſirten Lichte das Ringſyſtem eines zweiaxigen Kryſtalles. Aehnliche Erſcheinungen wie die vorgenannten, bemerkte **Seebeck** an ſchnell entſtandenen Kryſtallen von Borax, Kochſalz, in Gummiſtücken und an thieriſchen Subſtanzen; ja ſelbſt im Diamante, ſonſt einem einfach brechenden Körper, will ſie **Brewſter** geſehen haben.

345. Der innige Zuſammenhang, welcher zwiſchen der Polariſation und doppelten Brechung Statt findet, läßt häufig von einer der-

ſelben auf die andere ſchließen, und da die doppelte Brechung mit dem Kryſtalliſationszuſtande der Körper ſo genau zuſammenhängt, ſo wird durch die Polariſation auch oft ein Schluß auf die Kryſtallform der Stoffe gerechtfertigt. Der kleinſte Splitter eines doppelt brechenden Körpers polariſirt das Licht vollkommen, und die Polariſationsrichtung geſtattet einen Schluß auf die Lage des Hauptſchnittes. Die Farbenringe, welche ſolche Körper im polariſirten Lichte zeigen, geben Anzeigen über die Anzahl und Lage der Axen, über ihre Aenderung durch Druck, Erwärmung ꝛc. Körper, deren doppelte Brechung bekannt iſt, werden mit Vortheil zur Beſtimmung des Polariſationszuſtandes des Lichtes gebraucht.

Will man erfahren, ob ein Körper das Licht doppelt breche oder nicht, ſo gebe man ihn zwiſchen zwei Turmalinplättchen, wie ſie früher beſchrieben worden ſind, deren Axen aber ſich rechtwinkelig durchkreuzen (oder auch zwiſchen zwei Nicol'ſche Prismen, die eben ſo gelegt ſind). Dieſe erſcheinen undurchſichtig, ſo lange ſich gar nichts oder ein das Licht einfach brechender Körper zwiſchen ihnen befindet. Wie aber eine doppelt brechende Subſtanz dazwiſchen kommt, ſo werden ſie augenblicklich durchſichtig oder wenigſtens durchſcheinend. Will man unterſuchen, ob ein Strahl polariſirt ſey oder nicht, ſo leite man ihn durch einen Doppelſpath. Kann man beim Drehen deſſelben eine Lage finden, wo nur ein Bild entſteht, ſo iſt der Strahl polariſirt; ja ſelbſt wenn man keine ſolche Lage ausfindig machen kann und zwei Bilder entſtehen, ſo läßt ſich aus der Gleichheit oder Verſchiedenheit ihrer Intenſität erkennen, ob der Strahl gar nicht, oder nur zum Theile polariſirt ſey. Man kann die zur Entſtehung polariſirter Farbenringe nöthigen Bedingungen dazu benützen, zu erforſchen, ob die von der Luft und von Wolken reflectirten oder von leuchtenden Körpern verſchiedener Art ausgehenden Strahlen polariſirt ſeyen oder nicht. Hierauf gründen ſich die ſogenannten Polariſkope, dergleichen Arago, Biot, Savart angegeben haben. Wird nämlich an ein Turmalinplättchen, das parallel mit der Axe des Kryſtalls geſchnitten iſt, ein ſenkrecht auf die Axe geſchnittenes Bergkryſtallplättchen oder ein ſolches Doppelſpathplättchen befeſtigt; ſo darf man nur erſteres nahe vor das Auge halten und ſehen, ob Farbenringe bemerklich ſind oder nicht. Finden dieſe Statt, ſo muß offenbar das einfallende Licht polariſirt ſeyn. Die von Savart zu dieſem Behufe angewendeten, unter 45° gegen die Axe geſchnittenen Bergkryſtallplatten, mit gekreuzten Hauptſchnitten über einander gelegt und mit einem Turmalinplättchen verſehen, deſſen Axe den Winkel der erſteren halbirt, laſſen bei der geringſten Spur von polariſirtem Licht geradlinige Streifen wahrnehmen, deren Richtung, wenn das Ganze in der Ebene der Plättchen ſo gedreht wird, daß dieſelben in größter Intenſität und mit einem ſchwarzen Mittelſtreifen erſcheinen, mit der Polariſationsrichtung des Lichtes übereinſtimmt. Bei circular polariſirtem Lichte bleibt das Ausſehen dieſer Streifen ſtets dasſelbe, wenn man das Polariſkop um eine auf der Ebene der Plättchen ſenkrechte Axe dreht. Ueberhaupt ſind die Erſcheinungen, welche Kryſtallplättchen, die durch ſenkrecht auf die optiſche Axe geführte Schnitte entſtehen, im polariſirten Lichte gewähren, beſonders geeignet, um die Lage der Axen der doppelten Brechung auszumitteln, und bei ſolchen, welche zwei derlei Axen haben, den Neigungswinkel derſelben zu beſtimmen; denn die Ringe erſcheinen bei einaxigen Plättchen nur dann kreisförmig, wenn

die Axe des Strahlenkegels mit der Brechungsaxe des Kryſtalls parallel iſt, und in ſolchen Plättchen, deren Axen wenig gegen einander geneigt ſind, und demnach gegenſeitig ihre Farbenringe modificiren, zeigen die zwei Mittelpuncte der ovalen Ringe die Pole der Brechungsaxen an. Leitet man durch ein ſolches Plättchen homogenes Licht, ſo erſcheinen offenbar nur die demſelben entſprechenden Ringe und auch die ihm entſprechende Axe. Vergleicht man ihre Lage in verſchiedenem homogenen Lichte, bei verſchiedenen Temperaturgraden ꝛc.; ſo erfährt man, daß in ſolchen Kryſtallen jedem farbigen Strahle eine beſondere Axe der doppelten Brechung entſpreche, daß die Axen in einigen merklich von einander abweichen, in anderen nahe zuſammenfallen, daß nicht alle derſelben in einer Ebene liegen, kurz alles das, was früher von den Brechungsaxen geſagt wurde. Merkwürdig iſt die Aenderung der Lage der Axen bei dem Weißbleierz durch Erwärmung, welche man gut wahrnimmt, wenn man eine Platte dieſes Kryſtalls zwiſchen zwei Turmalinplatten in den Brennpunct einer Sammellinſe, worauf man Sonnenlicht geleitet hat, bringt, und die Erſcheinung auf einen weißen Schirm fallen läßt. Die raſche Aenderung in dem Farbenphänomen läßt ein Auseinanderweichen der Axen bei Erhöhung der Temperatur erkennen. Auch Anomalien in der Zuſammenſetzung kryſtalliſirter Körper geben ſich durch Verzerrung der Ringe zu erkennen. (Zeitſchr. 1. 30; 7. 81. Pogg. Ann. 8. 520; 17. 1; 26. 302; 26. 308; 27. 480; 27. 504. Schweigg. Journ. 49. 167; 69. 140.) Man hat ſogar die feineren materiellen Unterſchiede vieler Subſtanzen aus ihrer doppelt brechenden und polariſirenden Eigenſchaft zuerſt erkannt, wiewohl dieſe Unterſchiede ſo gering waren, daß man ſie bei chemiſchen Analyſen gar leicht überſehen konnte. So hielt man längere Zeit hindurch alle Körper, die unter dem Namen Glimmer vorkommen, für ganz gleichartig, bis Biot aus ihrem optiſchen Verhalten erklärte, daß es Glimmer mit einer und mit zwei Brechungsaxen gebe, und daß mancher abſtoßend, ein anderer anziehend wirke, und dadurch die Chemiker veranlaßte, dieſe Körper einer genaueren Unterſuchung zu unterwerfen, wobei ſich zeigte, daß ihrem beſonderen optiſchen Verhalten auch eine beſondere materielle Beſchaffenheit entſpreche.

Neuntes Kapitel.

Farben dünner Plättchen.

346. Seit Hook und Newton weiß man, daß jede ſehr dünne Schichte, jedes feine Plättchen aus einer durchſichtigen Subſtanz, ja ſelbſt der von ſehr nahen Körperflächen begrenzte luftleere Raum eigenthümliche Farben zeigt, die mit der natürlichen Färbung größerer Maſſen der betreffenden Körper nichts gemein haben, da ſie ſich anders im reflectirten, als im durchgelaſſenen Lichte darſtellen, und nicht bloß von der Natur der Plättchen abhängen, ſondern mit der Dicke derſelben und ſogar mit dem Einfallswinkel des Lichtes ſich ändern. Das bekannteſte und auffallendſte Beiſpiel dieſer Claſſe von Erſcheinungen bieten die Seifenblaſen dar; ähnliche Farbenphänomene findet man an dünnem Glaſe, dünnen Glimmerplättchen, dünnen, auf

Waſſer ſchwimmenden Oehlſchichten, überhaupt an jedem ſehr dünnen Ueberzuge eines Körpers (Nobili's Figuren 150), an feinen Sprüngen im Innern der Körper, an Fiſchſchuppen u. dgl. Schon Newton hatte die Geſetze dieſer Phänomene mit muſterhafter Genauigkeit erforſcht; allein eine haltbare Erklärung derſelben konnte erſt nach gehöriger Begründung der Undulationstheorie gegeben werden, da ſie die Geſetze der Interferenz und die genaue Kenntniß der Intenſität des Lichtes durch Reflexion und Brechung, mithin die ſubtilſten Reſultate der Lehre von der Polariſation in Anſpruch nimmt.

347. Um die Geſetze dieſer Erſcheinungen erforſchen zu können, muß man vor allem verſuchen, ſie an Plättchen von einerlei Natur und verſchiedener aber bekannter Dicke hervorzubringen. Dazu dient nun ganz vorzüglich Newton's Farbenglas, eine ebene Glasplatte, auf die man ein wohl centrirtes Converglas von großem Halbmeſſer legt und beide mittelſt einer Faſſung in einer beſtimmten Lage gegen einander feſt hält. Letzteres berührt nämlich jene Platte an einer Stelle, und ſteht rings um dieſe Stelle in gleicher Entfernung gleich weit von ihr ab, und man kann dieſen Abſtand genau kennen lernen. Gibt man demnach in den Raum zwiſchen den zwei Gläſern irgend eine Flüſſigkeit, z. B. atm. Luft, Waſſer, Weingeiſt ꝛc., ſo füllt ſie denſelben aus und bildet daher gleichſam concentriſche, an Dicke nach außen wachſende ringförmige Plättchen, ja ſelbſt, wenn man daraus alles Materielle, ſo gut man kann, entfernt, ſo erhält man einen von ſehr wenig von einander abſtehenden Flächen begrenzten Raum. Das Farbenglas bietet nun Folgendes dar: Sieht man von oben darauf herab, ſo erblickt man, wenn beide Gläſer einander gut berühren, in der Mitte einen ſchwarzen Fleck; dieſen umgeben mehrere concentriſche Farbenringe, auf ſie folgt wieder ein dunkler Ring, hierauf wieder ein farbiger und ſo abwechſelnd fort; die Farben werden immer ſchwächer, je größer die Ringe ſind, und verlieren ſich endlich ganz. Aehnliche Farbenringe bemerkt man auch im durchgelaſſenen Lichte, ſie ſind aber minder hell und an Farbe verſchieden; jedem Ringe, der im reflectirten Lichte ſich zeigt, entſpricht im durchgelaſſenen ein anderer, deſſen Farbe jene zu Weiß ergänzt. Die Farben folgen beſtändig in derſelben Ordnung auf einander, ſie erſcheinen im luftleeren Raume, in verdünnter Luft, ja ſelbſt, wenn ſtatt Luft eine andere Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, Weingeiſt, zwiſchen den Gläſern enthalten iſt; der einzige Unterſchied beſteht in der verſchiedenen Lebhaftigkeit der Farben und im Durchmeſſer der Ringe. In der Regel iſt die Lebhaftigkeit der Farben größer in verdünnter Luft, als in Luft von natürlicher Dichte, und hier wieder größer, als wenn Waſſer zwiſchen den Gläſern ſteht. Die Größe eines Ringes von beſtimmter Farbe nimmt zu, wenn man ihn ſchief anſieht, die Gläſer ſcharf an einander drückt oder das Brechungsvermögen der zwiſchen den Gläſern enthaltenen Flüſſigkeit vermindert. Newton maß die Durchmeſſer dieſer Ringe mit einer muſterhaften Genauigkeit bei verſchiedenen Einfallswinkeln des Lichtes und bei verſchiedenen Flüſſigkeiten,

und überzeugte ſich, daß unter übrigens gleichen Umſtänden der Durchmeſſer eines Ringes in demſelben Verhältniſſe kleiner werde, in welchem das Brechungsvermögen der Flüſſigkeit zunimmt, eine Wahrheit, die deßhalb ſehr wichtig iſt, weil ſie lehrt, wie man die bei einer Flüſſigkeit erhaltenen Reſultate auf alle anderen ausdehnen kann.

Die Ordnung der Farben iſt von der Mitte aus folgende. 1. Reihe: Schwarz, blau, weiß, gelb, orange, roth. 2. Reihe: Violett, indigoblau, blau, grün, gelb, orange, hellroth, ſcharlachroth. 3. Reihe: Purpurroth, indigoblau, blau, grün, roth, bläulichroth. 4. Reihe: Bläulichgrün, grün, roth. 5. Reihe: Grünlichblau, blaßroth. 6. Reihe: Grünlichblau, röthlichweiß. 7. Reihe: Grünlichblau, ſchwach röthlichweiß. Dieſe Farbenfolge iſt jener an den Farbenringen einer ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Doppelſpathplatte u. a. im polariſirten Lichte völlig gleich. Um die Newton'ſchen Ringe auf eine Wand zu projiciren und ſie dadurch mehreren Perſonen zugleich und vergrößert wahrnehmbar zu machen, laſſe man mittelſt eines Sammelglaſes, in deſſen Brennpunct man ein gutes Farbenglas bringt, im verdunkelten Zimmer einen Kegel convergirender Sonnenſtrahlen ſchief darauf fallen; der reflectirte Strahlenkegel ſtellt an der Wand oder auf einem Schirme die Erſcheinung lebhaft dar.

348. So betrachtet war das Phänomen der Farbenringe wegen des Zuſammenwirkens der verſchiedenen Beſtandtheile des einfallenden Lichtes zu verwickelt, um die Geſetze deſſelben vollſtändig zu überſehen. Um es in ſeine Elemente zu zerlegen, ließ Newton auf das Farbenglas gleichartiges Licht fallen Da zeigten ſich folgende Erſcheinungen: 1) Jeder gleichartige Strahl erzeugt Ringe von ſeiner eigenen Farbe, ſowohl durch Reflexion als durch Transmiſſion. 2) Jeder Ring iſt ſowohl im reflectirten als durchgelaſſenen Lichte von dem folgenden durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt; man kann deßhalb jeden einzelnen beſſer als im vollen Lichte, und deren auch mehrere wahrnehmen. Der dunkle Zwiſchenraum wird deſto ſchmäler, je mehr ſich die Ringe vom Mittelpuncte entfernen. 3) Jedem dunklen Zwiſchenraume im reflectirten Lichte entſpricht im durchgelaſſenen ein farbiger Ring, und wo im letzteren der dunkle Zwiſchenraum iſt, da befindet ſich im erſteren ein Farbenring; jedoch ſind dieſe dunklen Stellen minder lichtarm als im reflectirten Lichte. 4) Sowohl die reflectirten als die durchgelaſſenen Lichtringe haben eine angebbare Breite, die aber nicht gleichförmig beleuchtet iſt, ſondern die Lichtſtärke verliert ſich von einem Kreiſe in der Mitte jedes Ringes aus allmälig. 5) Bei jeder Lichtgattung nehmen die Quadrate der Halbmeſſer der reflectirten Farbenringe, und folglich die Abſtände der einander zugekehrten inneren Glasflächen oder die Dicken der farbigen Schichte vom hellſten Puncte an gerechnet zu, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 ꝛc. 6) Die Quadrate der Halbmeſſer der dunklen Zwiſchenräume oder die Dicken der wirkenden Lamelle an den betreffenden Stellen wachſen wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 ꝛc. 7) Bei den durchgelaſſenen Farbenringen entſpricht der hellſte Kreis dem dunkelſten im re-

flectirten Lichte; es findet daher hier dasſelbe Verhältniß bei den dunklen Zwiſchenräumen Statt, wie im reflectirten Lichte bei den farbigen Ringen, und umgekehrt. 8) Der Durchmeſſer eines Ringes von derſelben Ordnung wird deſto kleiner. je brechbarer das Licht iſt, das ihn bildet. So iſt z. B. der vierte Ring im rothen Lichte größer als der vierte im gelben oder grünen. Dieſes erſtreckt ſich ſogar auf die Unterſchiede der Brechbarkeit im Lichte von derſelben Farbe; denn ein Ring im Lichte vom äußerſten Roth des prismatiſchen Farbenbildes erſcheint größer, als einer von derſelben Ordnung, der vom mittleren Roth entſtand. 9) Auch die Breite eines Ringes derſelben Ordnung iſt deſto kleiner, je größer die Brechbarkeit des ihn bildenden Lichtes iſt. 10) Die Ringe ſind in jedem Strahle am kleinſten, wenn das Licht ſenkrecht durch die Luftſchichte geht, und werden deſto größer, je ſchiefer der Strahl einfällt.

349. Alle dieſe Phänomene gründen ſich auf die Interferenz des Lichtes. Vorerſt kann einem die Aehnlichkeit zwiſchen den Interferenzphänomenen im weißen und farbigen Lichte mit jenen der Farbenringe bei weißer und farbiger Beleuchtung nicht entgehen. So wie die Interferenzphänomene im weißen Lichte aus dem theilweiſen Zuſammentreffen der einzelnen von jedem farbigen Strahle herrührenden dunklen und farbigen Streifen herrühren (283), eben ſo geht es hier. Es entſtehen nämlich von jedem Strahle ſo viele Ringſyſteme, als er Theile von verſchiedener Brechbarkeit enthält; viele dieſer Ringe fallen zum Theile auf einander und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der Mittelfarben hervor, wie ſie ſich am Farbenglaſe zeigen. Daß dieſe Anſicht die wahre ſey, kann man ſchon hieraus abnehmen, daß, wenn man ihr gemäß unterſucht, welche Ringe auf einem Theile des Glaſes entſtehen und welche Farbe ſie zuſammen hervorbringen müſſen, dieſe Farbe genau diejenige iſt, welche der Verſuch nachweiſet. Daß aber der Grund dieſer Erſcheinungen nur in der Interferenz des von beiden Flächen des dünnen Plättchens ins Auge kommenden Lichtes zu ſuchen ſey, wird zur Gewißheit erhoben, wenn man auf experimentellem Wege zu zeigen vermag, daß das Licht beider Flächen zur Hervorbringung der Erſcheinung weſentlich nothwendig iſt. Solche Beweiſe haben Arago (Mémoires d'Arcueil 1817), Airy (Pogg. Ann. 26. 123; 28. 75) und Brewſter (Pogg. Ann. 58 453) geliefert. Legt man eine große Convexlinſe mit ſchwach gekrümmten Flächen auf einen Metallſpiegel und läßt darauf Licht fallen, ſo zeigen ſich die Newton'ſchen Farbenringe. Gibt man dem einfallenden Lichtbündel gegen die Glasflächen jene Neigung, die zur Polariſirung deſſelben nothwendig iſt, und betrachtet ſodann die Erſcheinung mittelſt eines Turmalinplättchens oder Nicol'ſchen Prisma's in ſolcher Lage, daß das von den Glasflächen reflectirte Licht weggeſchafft wird; ſo bleibt noch ein Theil des von der Metallfläche reflectirten Lichtes zurück, allein die Farbenringe verſchwinden gänzlich. Dasſelbe geſchieht, wenn man gleich urſprünglich zur Beleuchtung des Apparates einen ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Lichtbündel verwendet. Sehr wichtig ſind die Aenderungen, denen

der bei der gewöhnlichen Verſuchsweiſe dunkle Fleck in der Mitte der Farbenringe unterliegt, wenn die untere Fläche eine Metallfläche iſt und das nicht unter dem Polariſationswinkel einfallende Licht vor oder nach der Reflexion ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirt worden iſt. Iſt nämlich der Einfallswinkel kleiner als der Polariſationswinkel, ſo erſcheint dieſer Fleck dunkel; er wird hingegen **weiß** geſehen, wenn der Einfallswinkel größer iſt als der Polariſationswinkel. **Lloyd** in Pogg. Ann. 60. 587.

350. Die Erklärung der in Rede ſtehenden Erſcheinungen nach dem Principe der Interferenz iſt folgende: Es ſey MN (Fig. 345) ein dünnes Plättchen aus einer durchſichtigen Subſtanz mit ebenen und parallelen Flächen. Auf dasſelbe falle von einer Lichtquelle, deren Diſtanz vom Plättchen die Dicke desſelben viele Male übertrifft, ein Strahl SA. Ein Theil desſelben wird nach AO reflectirt, der andere dringt nach AB in das Plättchen ein. Dieſer letztere liefert wieder einen nach BO′ aus dem Plättchen austretenden Theil. Außer dem Strahle SA gibt es noch eine Menge andere S′A′, S″A″,.. welche, nachdem ſie im Innern des Plättchens ein, zwei, drei ... Mal reflectirt worden ſind, gleichfalls nach den Richtungen AO, BO′ Licht ſenden. Die Einfallspuncte dieſer Strahlen werden durch die Bedingung beſtimmt, daß die Winkel, welche B′A, A′B′, B″A′, A″B″ u. ſ. w. mit den Flächen von MN bilden, den Winkeln, welche AB mit dieſen Flächen macht, gleich kommen. Die Intenſitäten der Beſtandtheile, welche ſich zu dem nach AO, BO′ fortgepflanzten Lichte vereinigen, ſind um ſo geringer, je weiter die Einfallspuncte der betreffenden Strahlen von A entfernt ſtehen; die Schwingungen, welche in den Strahlen AO, BO′ zuſammen kommen, befinden ſich in verſchiedenen Phaſen; da dieſe in einer auf die Richtungen SA, S′A′, S″A″ ꝛc. ... ſenkrechten Ebene als gleich betrachtet werden können, ſo laſſen ſich ihre Unterſchiede, gleichwie die Intenſitäten der entſprechenden Strahlen, aus der gemeinſchaftlichen Incidenz und Farbe der Strahlen, aus der Dicke und dem Brechungsinder des Plättchens beſtimmen, und darnach die Intenſitäten der zuſammengeſetzten Strahlen AO, BO berechnen. Die Reſultate dieſer Rechnung harmoniren mit den Ergebniſſen der Beobachtung auf das Genaueſte.

Um an dem einfachſten Falle der Rechnung einen Begriff von dem Gange derſelben zu geben, ſoll hier gezeigt werden, daß an der Berührungsſtelle der zwei Gläſer des **Newton**'ſchen Apparates zur Darſtellung der Farbenringe nothwendig im ſenkrecht reflectirten Lichte ein dunkler Fleck erſcheinen muß. Es ſeyen nämlich r, ρ die Brüche, mit welchen man die Vibrationsintenſität des Lichtes multipliciren muß, um deren Werth nach einer äußern und innern Reflexion zu erhalten; ähnliche Multiplicatoren ſeyen s und σ für eine innere und äußere Brechung. Wird die Schwingungsintenſität des einfallenden Lichtes $= 1$ geſetzt, ſo findet man die Schwingungsintenſität 1) des an der äußeren Fläche reflectirten Lichtes $= r$; 2) des Strahles, der nach ſeinem Eindringen in das Plättchen an der Hinterfläche eine Reflexion erleidet und ſodann an der Vorderfläche austritt $= s\rho\sigma$; 3) des

Strahles, der nach drei Reflexionen im Plättchen aus demſelben kommt $= s\rho^5\sigma$ u. ſ. w. Nennt man die Schwingungsintenſität des reſultirenden Strahles v, ſo hat man, weil in dem vorliegenden Falle die Dicke des Plättchens = 0 anzunehmen iſt, mithin kein Gangunterſchied der Strahlen Statt findet,

$$v = r + s\rho\sigma + s\rho^3\sigma + s\rho^5\sigma + \ldots = r + s\rho\sigma\,(1 + \rho^2 + \rho^4 + \ldots)$$
$$= r + \frac{s\rho\sigma}{1-\rho^2} = \frac{r + \rho(s\sigma - r\rho)}{1-\rho^2}.$$

Iſt n der Brechungsinder für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Plättchen, ſo hat man nach den in 327 gegebenen Formeln, wenn man α und β als ſehr klein betrachtet und $\alpha = n\beta$ ſetzt, $r = -\frac{n-1}{n+1}$, folglich nach Vertauſchung von n mit $\frac{1}{n}$, $\rho = \frac{n-1}{n+1}$ alſo $\rho = -r$, Ferner hat man, unter der Annahme, daß ſich die Intenſität des einfallenden Lichtes in jene des reflectirten und gebrochenen theilt, $s^2 = 1 - r^2$, alſo $s^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = \frac{4n}{(n+1)^2}$, und eben ſo $\sigma^2 = \frac{4n}{(n+1)^2}$, mithin $s\sigma = \frac{4n}{(n+1)^2}$ und $r\rho = -\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$, alſo $s\sigma - r\rho = \frac{4n + (n-1)^2}{(n+1)^2} = 1$. Mit Rückſicht auf dieſe Reſultate ergibt ſich $v = 0$. Der Gegenſatz der Zeichen von r und ρ iſt dem Verluſte einer halben Undulation bei der Reflexion an der inneren Fläche im Vergleiche mit jener an der äußeren äquivalent, und entſpricht vollkommen der im erſten Theile 370 betrachteten Umkehrung der Lage der reflectirten Welle.

Als ein Beleg, wie man in der Emanationshypotheſe zu verfahren genöthiget war, mag die Art dienen, auf welche Newton das Phänomen der Farben dünner Plättchen, um deſſen Beobachtung er ſo große Verdienſte hat, auffaßte. Er ſah darin die Andeutung einer dem Lichte eigenen Qualität, vermöge welcher ſich die Theilchen deſſelben in periodiſch wechſelnden Zuſtänden befinden, mit denen in gleichem Maße die Dispoſition zur Reflexion und zur Transmiſſion wechſelt. Dieſe Variationen des Zuſtandes nannte er Anwandlungen zur leichteren Reflexion und Transmiſſion (accessus facilioris reflexionis et transmissionis), und den Weg, den ein Lichttheilchen durchläuft, bis es die am Anfange deſſelben gehabte Anwandlung wieder erlangt, welcher Weg wegen der gleichförmigen Bewegung in demſelben Mittel und wegen der gleichen Dauer der Anwandlungen für Lichttheilchen von einer beſtimmten Farbe conſtant iſt, Intervall der Anwandlungen. Er nahm an, dieſes Intervall variire bei dem ſenkrechten Uebergange des Lichtes in ein neues Medium, und verhalte ſich zu dem früheren wie der Brechungsexponent zur Einheit; bei ſchiefer Incidenz dependire es überdieß vom Einfallswinkel und ſey unter gleichen Umſtänden um ſo kleiner, je weiter die Farbe des Lichtes im Spectrum vom Roth entfernt ſteht. Ein Lichttheilchen, welches reflectirt wird, nachdem es in ein Mittel bis zu einer gewiſſen Tiefe = c eingedrungen iſt, wird dem gemäß gleichfalls reflectirt, wenn die Schichte des Mittels die Dicke 3 c, 5 c, 7 c u. ſ. w. hat, dagegen durchgelaſſen, wenn die Dicke der Schichte 2 c, 4 c, 6 c u. ſ. w. iſt. Da am Newton'ſchen Farbenglaſe die Quadrate der Halbmeſſer der abwechſelnd hellen und dunklen Ringe wie die na-

türlichen Zahlen, und eben ſo die den Ringen entſprechenden Dicken der zwiſchen den Gläſern befindlichen Schichten wachſen, ſo folgt hieraus das Phänomen der Farbenringe von ſelbſt. Newton beſtimmte die Größe von c für die verſchiedenen farbigen Strahlen; der Werth derſelben iſt dem vierten Theile der Länge einer Lichtwelle gleich. Aber dieß iſt keine Erklärung der Farbenerſcheinungen dünner Plättchen; ja nicht einmal das Verdienſt, ein allgemeiner Ausdruck des Phänomens zu ſeyn, kommt dieſer Darſtellung zu, ſeitdem bewieſen wurde, daß das an der oberen Fläche eines Plättchens reflectirte, alſo gar nicht eingedrungene Licht zur Hervorbringung der Erſcheinung eben ſo weſentlich beiträgt, wie letzteres.

Young, der die Erklärung der Newton'ſchen Farben nach der Undulationstheorie zuerſt gab, betrachtete dabei bloß die zwei Strahlen SA und S'A'; daß es nöthig ſey, eine unendliche Anzahl von Reflexionen in Erwägung zu ziehen, bemerkte zuerſt Poiſſon, Fresnel trug ſeiner Seits zur Aufklärung des Gegenſtandes bei. Eine vollſtändige Theorie gibt Airy (Pogg. Ann. 44. 512).

Nebſt den Farbenphänomenen dünner Plättchen zeigen ſich unter günſtigen Umſtänden auch derlei Erſcheinungen an dicken Platten. Sie rühren von der Interferenz von Strahlenſyſtemen her, welche mehrere Brechungen und Reflexionen erlitten haben. Solche hat in der That Brewſter an Luftſchichten wahrgenommen, welche zwiſchen parallelen Glasplatten oder zwiſchen einer hohlen und einer erhabenen Linſe enthalten ſind (Pogg Ann. 26. 150). Schließt man das eine Ende einer Röhre von etwa 10 Zoll Länge mit einem Deckel, worin ſich eine rechtwinklige Oeffnung von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Breite befindet, und deckt das andere Ende mit einer Glasplatte, gegen welche eine zweite unter einem ſehr kleinen Winkel geneigte geſtellt iſt, und ſieht man durch die Glasplatten gegen die Oeffnung am anderen Ende, ſo zeigen ſich bei hinreichendem Lichte mehrere den Interferenzſtreifen ähnliche Farbenſpectra, die der Kante des Winkels der Glasplatten parallel ſind.

Zehntes Kapitel.

Abſorption des Lichtes.

351. Schon im erſten Kapitel der Lichtlehre wurde geſagt, daß die Körper bezüglich ihres Verhaltens zum Lichte in durchſichtige und undurchſichtige eingetheilt werden, wovon die erſteren das Licht durchlaſſen, die letzteren aber demſelben den Durchgang nicht geſtatten. Die Erfahrung lehrt aber, daß jeder Körper, falls er nur dünn genug ausgearbeitet wird, wenn nicht völlig durchſichtig, doch wenigſtens durchſcheinend ſey, ſo wie, daß es für jeden durchſichtigen eine Dicke gebe, bei der er das Licht nicht mehr durchläßt, mithin nicht mehr durchſichtig iſt. Man kann daher als Regel annehmen, daß von den zwei Theilen, in welche ein Lichtſtrahl an der Grenze zweier Mittel getheilt wird, einer ins neue Mittel eindringt während der andere reflectirt wird. Sowohl der reflectirte, als der eingedrungene Theil verhält ſich wieder auf verſchiedene Art. Man unterſcheidet bekanntlich beim zurückgeworfenen Lichte das regelmäßig reflectirte, welches uns das Bild des

leuchtenden Körpers zeigt, von dem zerſtreut zurückgeworfenen, wodurch der reflectirende Körper ſelbſt ſichtbar wird. Der Antheil an letzterem iſt deſto größer, je polirter der reflectirende Körper und je größer der Einfallswinkel des Lichtes iſt. Daher kommt es, daß manche Körper, die bei faſt ſenkrecht auffallendem Lichte keine Spur von Glanz zeigen, ſpiegeln, wenn man ſie ſchief anſieht, und daß ein Körper durch bloßes Glätten ſeiner Oberfläche zum Spiegel wird. Manche Körper reflectiren, wenn ihre Oberfläche rauh iſt, eine ſehr geringe Menge Licht, wie es nach Brewſter an einem Rauchtopaſe der Fall war, der an ſeinen Bruchflächen ganz ſchwarz erſchien, ungeachtet er an den natürlichen Flächen viel Licht reflectirte. Die Menge des reflectirten Lichtes ſteht, wie die Geſetze der Polariſation lehren, mit dem Brechungsexponenten der zwei an einander grenzenden Mittel in Zuſammenhang, nämlich des reflectirenden und desjenigen, durch welches das Licht dahin gelangt. Das von einem Körper zerſtreut reflectirte Licht geht von jedem Puncte desſelben nach allen Richtungen aus und macht ihn ſichtbar, kann aber auch, wenn es von dieſem wieder zurückgeworfen wird, andere Körper wie jeder leuchtende erleuchten. Die Größe dieſer Erleuchtung wird von denſelben Geſetzen beherrſcht, wie die von einem leuchtenden Körper herrührende.

Nach Bouguer wird von einem Lichtſtrahle, der ſenkrecht von der Luft auf Waſſer fällt, 0.018, von einem, der eben ſo von Luft auf Glas kommt, 0.025 reflectirt. Nach Herſchel reflektirt ein Metallſpiegel 0.673 des auffallenden Lichtes. Lambert fand, daß die Menge des von Glas reflectirten Lichtes bei den Einfallswinkeln (von der Trennungsfläche der Mittel an gerechnet) 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, durch folgende Zahlen ausgedrückt werde: 0.483; 0.367; 0.279; 0.210; 0.165; 0.136; 0.115; 0.98. Schwarzer Marmor reflectirt bei 3° 35′, 15°, 30°, 80°, folgende Lichtmengen: 0.6; 0.156; 0.051; 0.023. Nach Potter nimmt das Reflexionsvermögen friſch polirter Spiegel mit der Zeit raſch ab. (Pogg. Ann. 22. 606.)

352. Das in einen Körper eingedrungene Licht verhält ſich verſchieden, je nachdem das Mittel, worein es gedrungen iſt, zu den durchſichtigen oder undurchſichtigen gehört. In denjenigen Körpern nämlich, welche wir undurchſichtige nennen, wird alles nicht reflectirte Licht verſchluckt (abſorbirt), in den durchſichtigen geſchieht dieſes nur mit einem Theile deſſelben, der andere geht durch den Körper hindurch, erleidet aber auf dem Wege ununterbrochene Zerſtreuungen und der Reſt verläßt den Körper wieder nach einer den Brechungsgeſetzen entſprechenden Richtung. Kein Körper nimmt alles auf ihn fallende Licht auf; denn an der Grenze zweier Mittel muß jeder Strahl in zwei Theile getheilt werden, wovon einer reflectirt wird. Wollte man demnach nur ſolche Körper vollkommen durchſichtig nennen, die alles auffallende Licht aufnehmen und durchleiten, ſo wäre ein ſolcher Körper etwas Unmögliches. Wohl iſt aber ein Körper denkbar, der den einmal aufgenommenen Antheil des auf ihn gefallenen Lichtes unge-

ſchwächt bis zur andern Grenze fortleitet, und ein ſolcher heißt eigentlich **vollkommen durchſichtig**. Aber es ſcheint nicht einmal einen ſolchen Körper in der Natur zu geben; denn das Licht wird auf ſeinem Wege in jedem Körper durch Zerſtreuung geſchwächt, woran der Mangel an Continuität und Homogeneität der Maſſe ſchuld ſeyn mag. Dieſes zeigt z. B. folgender Verſuch: Man leite einen intenſiven Lichtſtrahl A B (Fig. 346) in ein verfinſtertes Zimmer, und laſſe ihn recht ſchief auf ein ziemlich langes und dickes, reines Glasprisma fallen. Da ſieht man den reflectirten Strahl deutlich im Innern des Glaſes den Weg B F C G D K E I nehmen, zugleich aber gebrochene Theile davon in C, D, E, F, G, K, I in die Luft austreten. Der Glaskörper ſelbſt erſcheint in allen Puncten des Innern ſichtbar, zum Beweiſe, daß auch faſt an jeder Stelle eine Zerſtreuung des Lichtes eintrete und ſich der an der äußeren Grenze bemerkbare Vorgang im Innern unzählige Male wiederhole. Eine natürliche Folge dieſes Verhaltens iſt, daß ſelbſt bei dem durchſichtigſten Mittel der reflectirte und der durchgelaſſene Strahl zuſammengenommen eine geringere Intenſität haben, als der einfallende, und daß der Unterſchied deſto größer ausfällt, je größer der Weg iſt, den das Licht im Innern eines Körpers zurücklegen muß. Der Unterſchied zwiſchen der Intenſität eines einfallenden Strahles und der Summe des reflectirten und durchgelaſſenen Antheiles deſſelben beſtimmt die durch den Körper **abſorbirte** (ausgelöſchte) Lichtmenge.

Denkt man ſich das betreffende Mittel in m gleich dicke Schichten getheilt, nennt die Intenſität des eindringenden Lichtes I, und ſtellt ſich vor, in jeder ſolcher Schichte werde der Theil μI deſſelben abſorbirt; ſo hat offenbar das Licht in der erſten Schichte die Intenſität $I(1-\mu)$, in der zweiten die Intenſität $I(1-\mu)^2$ und in der letzten (mten) die Intenſität $I(1-\mu)^m$. Es nimmt demnach die Lichtſtärke in einem geometriſchen Verhältniſſe ab, wenn die Dicke des Mittels in arithmetiſchem zunimmt. Der Werth von μ hängt von der Natur des Mittels, beſonders von deſſen Dichte, von der Brechbarkeit des Lichtes und von der Temperatur ab. Die Größe $1-\mu$ gibt das Maß der **ſpecifiſchen Durchſichtigkeit** der Körper an.

Nach **Lambert** wird von einer grünlichen Glasplatte, bei einem Einfallswinkel von 41°, $^3/_{17}$ des einfallenden Lichtes abſorbirt. Seewaſſer abſorbirt bei einer Dicke von 679 Fuß alles Licht, und ſelbſt die Luft würde bei einer Höhe von 518385 Toiſen alles Sonnenlicht abſorbiren. Dieſelbe läßt nach **Lambert** beim ſenkrechten Einfallen 0 5889 durch. Ein Stück gemeinen Fenſterglaſes läßt die Hälfte, 16 ſolche Stücke, die zuſammen $9^1/_2$ L. dick ſind, laſſen $^1/_{247}$ und 76–80 ſolche Stücke gar nichts vom Sonnenlichte durch. Setzt man μ für Luft = 1, ſo iſt ſein Werth für Meerwaſſer 5.651, oder Meerwaſſer verſchluckt 5.651mal mehr Licht als Luft. Berückſichtigt man, daß das Meerwaſſer über 1000mal dichter als Luft iſt, ſo ſieht man, daß ſeine abſolute Durchſichtigkeit faſt 5000mal kleiner ſey als jene der Luft. Aus dem Geſagten erkennt man auch den großen Einfluß der Homogeneität der Maſſe auf ihre Durchſichtigkeit, und kann ſich viele Erſcheinungen erklären, z. B warum Papier durchſichtiger wird, wenn man die in ſeinen Poren enthaltene Luft durch Oehl erſetzt (es öhlet),

warum die Luft deſto durchſichtiger iſt, je mehr Waſſerdünſte ſie enthält, warum alle Gaſe Durchſichtigkeit beſitzen, der Hydrophan an Durchſichtigkeit dem Glaſe gleich kommt, wenn man die Luft in ſeinen Zwiſchenräumen durch Waſſer erſetzt; warum ein nicht polirtes Glasſtück völlig durchſichtig erſcheint, wenn man es mit Waſſer oder noch beſſer mit Terpentinöhl benetzt, deſſen Brechungsvermögen dem des Glaſes nahe gleich kommt. Man kann dieſen Umſtand ſogar zur Beſtimmung des Brechungsvermögens eines Körpers, der zur unmittelbaren Erörterung dieſer Größe entweder zu klein iſt oder zu wenig durchſichtig erſcheint, anwenden, indem man nur eine Flüſſigkeit auszumitteln braucht, in welcher derſelbe völlig durchſichtig erſcheint; das Brechungsvermögen dieſer Flüſſigkeit iſt dann zugleich das des betreffenden Körpers. Durch dieſes Mittel erkennt man auch leicht die kleinſten, die Durchſichtigkeit ſtörenden Fehler im Innern ungeſchliffener Edelſteine. Zwei Glasplatten ſind durchſichtiger, wenn ſich Waſſer, als wenn ſich Luft zwiſchen ihnen befindet, am durchſichtigſten aber, wenn man ſie mit einem aus Guajacharz und Canadabalſam beſtehenden Firniß zuſammenkittet. Glas verliert ſeine Durchſichtigkeit durch Zerſtoßen (Mengen der Glastheile mit Luft).

353. Die abſorbirenden Mittel wirken in der Regel nicht auf alle farbigen Strahlen mit gleicher Stärke, ſondern afficiren gewiſſe Strahlen mehr als andere. Die Folge davon iſt, daß das von einem ſolchen Mittel reflectirte oder durchgelaſſene Licht nicht bloß in ſeiner Intenſität, ſondern auch in ſeiner Farbe verändert erſcheint, indem offenbar in dem nach der Abſorption übrig gebliebenen Lichte jene Farbe vorherrſchend ſeyn wird, welche im Verhältniß zu ihrer Intenſität in geringſtem Maße abſorbirt worden iſt. Ein Körper erſcheint uns auch in der That immer von der Farbe, welche dem von ihm reflectirten und durchgelaſſenen Lichte zukommt, d. h. grün, blau oder gelb, je nachdem in dem von ihm reflectirten oder durchgelaſſenen Lichte die grünen, blauen oder gelben Strahlen die Oberhand haben. Weiß heißt der, welcher alle Lichtſtrahlen nahe in demſelben Verhältniſſe abſorbirt, und dieſe ſeine Farbe geht nach Maßgabe der größeren Abſorption durch die mannigfaltigſten Abſtufungen der Helligkeit hindurch ins Graue und zuletzt, wenn faſt alles Licht vernichtet iſt, ins Schwarze über. So viele Miſchungsverhältniſſe der farbigen Lichtſtrahlen möglich ſind, eben ſo viele Farbentöne kann es geben.

354. Meiſtens reflectirt ein Körper andere Strahlen, als er in ſeine Maſſe aufnimmt, und häufig ſind dieſe beiderlei Farben Ergänzungsfarben. Iſt der Körper durchſichtig genug, um noch bei einer merklichen Dicke Licht durchzulaſſen, oder dünn genug, um transparent zu erſcheinen; ſo ſieht man ihn in der That in zweierlei Farben, je nachdem er reflectirtes oder durchgelaſſenes Licht ins Auge ſendet. So z. B. reflectirt Waſſer grünes Licht und nimmt rothes auf, eben ſo wirft ein ſehr dünnes Goldplättchen rothlichgelbes Licht zurück und läßt grünlichblaues durchgehen. Daß mancher Körper im reflectirten und im durchgelaſſenen Lichte von gleicher Farbe erſcheint, rührt nur davon her, daß er in beiden Fällen ein Gemenge von reflectirtem und gebrochenem Lichte ins Auge ſendet.

Nach den von Herſchel gemachten Erfahrungen werden verſchiedenfarbige Strahlen in demſelben Mittel immer nach dem Geſetze abſorbirt, daß die Menge des durchgehenden Lichtes in einem geometriſchen Verhältniſſe abnimmt, wenn die Dicke des Mittels im arithmetiſchen Verhältniſſe zunimmt, allein der Exponent 1 — μ des geometriſchen Verhältniſſes (352) hat für jede Strahlengattung einen andern Werth. Ein Körper wird diejenigen Strahlen durchlaſſen, für welche der Werth von μ am kleinſten iſt, und die übrigen abſorbiren oder reflectiren. Kann man ihn ſo dünn ausarbeiten, als es der Werth von μ für andere Strahlen verlangt, ſo wird er anders gefärbt erſcheinen. Von der Art iſt z. B. Saftgrün, das in einer dünnen Schichte ſmaragdgrün, in einer dicken hingegen blutroth ausſieht. Man darf aber hiebei nicht vergeſſen, daß Strahlen, deren Intenſität unter eine gewiſſe Größe herabſinkt, keinen Eindruck mehr in unſerem Auge hervorbringen.

Geſetzt, es ſey der Werth von μ bei einem Körper von der Art, daß 1 — μ für das äußerſte Roth = 0.9, für gewöhnliches Roth, für Orange und Gelb = 0.1, für Blau, Dunkelblau und Violet = 0 1 beträgt, und daß in 10.000 weißen Strahlen deren 200 vom äußerſten Roth, 1300 rothe und orange, 3000 gelbe, 2800 grüne, 1200 lichtblaue, 1000 dunkelblaue und 500 violette vorkommen; ſo bleiben von dieſen noch übrig:

	nach der erſten,	zweiten,	dritten,	vierten Schichte = 1
Äußerſte Rothe . . .	180	162	146	131
Rothe und Orange .	130	13	1	0
Gelbe	300	30	3	0
Grüne	1400	700	350	175
Blaue	120	12	1	0
Dunkelblaue	100	10	1	0
Violette	50	5	0	0

und dieſer Körper erſcheint demnach in der Dicke = 1 grün, in der Dicke = 2 weniger grün, in der 3ten miſcht ſich Roth dazu. und nach der 4ten bleibt nur ein dunkles Rothgrün übrig Aus der verſchiedenen Miſchung der einzelnen Farben erklärt man ſich leicht die ungeheure Mannigfaltigkeit der Färbung, und begreift, wie ſchon die Römer bloß bei ihren Moſaikarbeiten 30.000 verſchiedene Farben haben konnten.

355. In welchem Verhältniſſe ein Mittel die verſchiedenfarbigen Theile eines weißen Lichtſtrahles abſorbirt, erfährt man am leichteſten, wenn dieſes Mittel mit parallelen Wänden begrenzt, weißes Licht durchleitet, daraus mittelſt eines reinen nicht abſorbirenden Prisma's ein Farbenbild erzeugt und dieſes mit jenem Farbenbilde vergleicht, welches man von weißem Lichte erhält, das nicht durch jenes abſorbirende Mittel gegangen iſt. Da werden natürlich jene Stellen des erſteren Spectrums, deren Licht in größerem Maße abſorbirt worden iſt, minder hell erſcheinen, als die entſprechenden des zweiten Spectrums, ja wenn einiges Licht ganz vernichtet worden, ſo wird man an den entſprechenden Stellen des Spectrums dunkle Räume oder Linien bemerken. So z. B. gibt Licht, welches durch kobaltblaues Glas gegangen iſt, ein Spectrum, in welchem das Orange nach Maßgabe der Färbung des Glaſes ganz oder zum Theil ausgelöſcht, das Roth aber ſehr geſchwächt iſt. Höchſt merkwürdig ſind in dieſer Beziehung die Erſcheinungen, welche ein Farbenbild gewährt, deſſen

Licht vorläufig durch eine hinreichend dicke Schichte von ſalpetrigſaurem Gas, von Jod- oder Bromdampf gegangen iſt. Zwiſchen dem mit Kerzenlicht, nachdem es durch ſalpetrigſaures Gas gegangen iſt, erhaltenen Spectrum und jenem des directen Sonnenſpectrums fand Brewſter eine ſehr große Uebereinſtimmung, indem ſich in beiden die dunklen Linien auf ähnliche Weiſe angeordnet zeigen. Licht, das durch Jod- oder Bromdampf gegangen iſt, gibt ein Spectrum mit vielen faſt gleich weit von einander abſtehenden dunklen Linien. Chlorgas löſcht das Blau im Spectrum aus, ohne dunkle Linien zu erzeugen. Oxalſaures Chromoxydkali wirkt ſowohl im feſten Zuſtande, als in einer wäſſerigen Löſung höchſt merkwürdig auf das Sonnenſpectrum. Schon bei der kleinſten Dicke wirkt es ſchwächend auf die gelben Strahlen bei D (S. 572). Bei zunehmender Dicke verſchwindet das Violet, das Gelb, das Orange, das weniger brechbare Grün, bis das Spectrum nur mehr aus zwei abgeſonderten Theilen, einem rothen und einem grünlichblauen beſteht. Bei noch mehr zunehmender Dicke erliſcht das Grün an der blauen Seite und das Blau an der violetten Seite, und zuletzt bleibt nur noch Roth zurück. Merkwürdig iſt überdieß in dem Spectrum des durch dieſen Körper gegangenen Lichtes das Auftreten einer ſcharf begrenzten Linie im Roth, zwiſchen den Fraunhofer'ſchen Linien A und B, die ihrer leichten Erkennbarkeit wegen zur Beſtimmung des Brechungsvermögens durchſichtiger Körper in Bezug auf rothes Licht beſonders geeignet iſt. Es iſt nicht unwahrſcheinlich, daß die Fraunhofer'ſchen Linien im Sonnenſpectrum von der gewiſſe Strahlen abſorbirenden Kraft der Atmoſphäre herrühren. Es würde daraus begreiflich, wie Brewſter in Edinburg im Spectrum eine Anordnung der dunklen Linien finden konnte, die von der durch Fraunhofer in München, als bei einer geringeren geogr. Breite geſehenen ſo ſtark abwich. (Pogg. Ann. 28. 385; 32. 128; 33. 233; 37. 315; 38. 52. Herſchel Treat. on Astron. p. 212.)

356. Die Abſorption des Lichtes und die daraus hervorgehende Färbung der Körper erklärt man ſich zum Theile dadurch, daß ein Mittel vermög der Anordnung der Kräfte des Aethers in ſeinen Poren nicht zur Fortpflanzung oder Annahme jeder Art Schwingung geeignet iſt, zum Theile aber daraus, daß es aus parallelen, gleich oder ungleich von einander abſtehenden Schichten reflectirender Mittel beſteht, die ſich gegen das Licht wie die beiden Grenzflächen eines dünnen Plättchens verhalten, wonach die Farbe eines Körpers das Ergebniß der Interferenz der direct reflectirten oder durchgelaſſenen Strahlen mit den erſt nach partiellen Reflexionen oder Brechungen dahin gelangenden iſt. Es iſt klar, daß hier die Beſchaffenheit der Farbe von der Dicke dieſer Schichten abhängen müſſe. Wird durch ſolche Schichten das Licht nicht bloß regelmäßig ſondern auch zerſtreut reflectirt, ſo begreift man, daß keine Strahlengattung vollkommen abſorbirt werden könne und demnach jede Farbe der Körper in der Regel eine zuſammengeſetzte ſeyn müſſe.

Man kann nach dieſen Grundſätzen die Phänomene der Abſorption analytiſch darſtellen. Wrede hat die Hauptformen der prismatiſchen Farbenbilder in verſchiedenen Medien mit ihren dunklen und lichten Linien durch partielle Reflexion an den Endflächen dünner Glimmerplättchen erhalten. Indem er ein dünnes Glimmerplättchen in Form einer aufrechten Cylinderfläche bog und das von einer brennenden Kerze ausgehende, auf dieſes Glimmerplättchen leitete und nachdem es dort reflectirt war, durch ein Prisma gehen ließ, enthielt er Spectra, in welchen eine Farbe bedeutend vorherrſchte. Die Natur dieſer Farbe richtete ſich nach der Dicke des Glimmerplättchens und er konnte ſomit durch Annahme verſchiedener Dicken alle Grade der Durchſichtigkeit und alle Farbentöne hervorbringen. Nach Maßgabe des Verhältniſſes zwiſchen der Länge der Lichtwelle und der Plättchendicke hatte das Spectrum ein oder mehrere Minima und es wurde ſomit nur eine Stelle oder beide Enden desſelben abſorbirt. War das Plättchen nicht dünner als 0.001 Zoll, ſo gab weißes Licht ein Spectrum mit einer gewiſſen Anzahl dunkler Linien und zwar mit einer um ſo größeren, je dicker das Plättchen war. Wrede ließ das von einem ſolchen Plättchen reflectirte Licht auf ein zweites oder eine dünne Schichte einer gefärbten Flüſſigkeit fallen und erſt das von dieſem reflectirte durch ein Prisma gehen, er konnte die Plättchen nach Belieben drehen und dadurch den Weg des Lichtes durch dieſelben und die reflectirte Lichtmenge modificiren. Auf ſolche Weiſe erlangte er Spectra wie ſie Jodgas und oxalſaures Chromoxydkali gibt, und durch Vergrößerung des Einfallswinkels die ſchwarzen Linien des Spectrums breiter machen.

357. Es iſt Jedermann bekannt, welches Licht man weiß nennt. Die Vorſtellung des Weißen läßt ſich ſo wenig als die einer andern Farbe durch eine Beſchreibung beibringen; dem Phyſiker iſt aber bekannt, daß weißes Licht aus allen farbigen, in einem gewiſſen Verhältniſſe gemiſchten Strahlen beſtehe. Ein Licht reflectirender Körper heißt auch weiß, wenn er die farbigen Strahlen in dem Verhältniſſe reflectirt, wie ſie im weißen Lichte vorkommen, und ſeine Weiße heißt abſolut, wenn er alle auffallenden Strahlen im gehörigen Verhältniſſe zerſtreut zurückwirft. Dieſe abſolute Weiße wird als Einheit der Weiße überhaupt angenommen, wenn es auch keinen Körper gibt, dem ſie zukommt. Die Weiße eines Körpers, der nicht alle auffallenden Strahlen zu reflectiren vermag, bezeichnet man mit dem Bruche, der den reflectirten Theil des auffallenden Lichtes ausdrückt. So iſt die Weiße $= {}^1/_8$, wenn $^1/_8$ der auffallenden Strahlen zerſtreut werden. So wie man weißes Licht zum Maßſtabe der Weiße macht, eben ſo kann man das in demſelben enthaltene rothe Licht zum Maßſtabe der Röthe, das darin befindliche blaue zum Maßſtabe der Bläue ꝛc. machen, und die Röthe, Bläue ꝛc. eines Körpers durch jene Zahl ausdrücken, welche angibt, den wievielten Theil der im Weiß enthaltenen rothen oder blauen Strahlen ein Stoff zerſtreut zurückwirft. Die Beſtimmung dieſer Zahl geſchieht durch beſondere Verſuche.

So z. B. beſtimmt Lambert die Röthe von Siegellack dadurch, daß er eine Stange desſelben auf ein ſchwarzes, von der Sonne ſtark beſchienenes Papier legt, und neben dieſelbe einen Streifen weißes Papier. Während er das Siegellack mit einem Auge anſieht, hält er

über das weiße Papier ein dreiſeitiges Glasprisma, richtet es auf dieſes Papier, und wendet es ſo lange, bis der durch daſſelbe erſcheinende rothe Streifen auf dem Papiere ſo intenſiv roth erſcheint, wie das Siegellack. Es iſt alſo hier die Röthe des Siegellacks der Weiße des Papieres gleich; wegen der unvollkommenen Durchſichtigkeit des Prisma's iſt aber letztere um ſo viel größer, als das Prisma Licht abſorbirt oder zerſtreut. Iſt nun die Weiße des Papiers aus andern Verſuchen bekannt, ſo iſt auch die Röthe des Siegellacks gefunden. Die ſogenannten farbigen Körper reflectiren nicht bloß das Licht von jener Farbe, unter der ſie erſcheinen, ſondern auch jedes andere, jedoch in einem viel geringeren Grade; man kann daher wohl von der Röthe oder Weiße ꝛc. eines grünen, gelben, blauen Körpers ſprechen, und ſie ſogar durch Verſuche, wie der vorhergehende war, beſtimmen.

Nach Lambert's Verſuchen iſt die Weiße eines Blattes ſehr weißen Papiers = 0,154, des Fließpapiers kaum = 0,0835, des Kremſerweißes = 0,4230; die Röthe des mit Mennig gefärbten Papiers = 0,293, die Röthe des mit Zinnober gefärbten = 0,336.

358. Theils zur ſtrengen Begründung der vorhergehenden photometriſchen Sätze, theils zur Beantwortung anderer hieher gehörigen intereſſanten Fragen, muß man die Intenſitäten ſowohl des directen, als des von Körpern auf was immer für eine Weiſe modificirten Lichtes meſſen können. In dieſer Beziehung treten aber ganz beſondere Schwierigkeiten ein. Wir kennen kein Licht, das die zu einem Maßſtabe für anzuſtellende Lichtmeſſungen nöthige Unveränderlichkeit beſitzt, und ſind daher gezwungen, jedesmal, wenn ſolche Unterſuchungen anzuſtellen ſind, irgend ein für die Dauer derſelben möglich gleichförmig fortdauerndes Licht als Einheit zum Grunde zu legen; ferner bleibt die Beſtimmung des Lichtgrades immer dem Auge anheim geſtellt, und man hat, wenn man davon die chemiſchen und erwärmenden Wirkungen des Lichtes ausnimmt, die wenigſtens vor der Hand noch nicht zu einem Maßſtabe für das Licht geeignet ſind, keine Scale, an der ſich dieſer Grad abnehmen ließe. Das Auge iſt aber nicht im Stande, ein anderes Verhältniß zwiſchen der Stärke zweier leuchtenden Körper beſtimmt zu erkennen, als das der Gleichheit, darum man auch bei den photometriſchen Beſtimmungen die mit einander zu vergleichenden Lichtſtärken zur Gleichheit bringen und nach den dazu nöthigen Maßregeln das Lichtverhältniß berechnen muß. Endlich gibt es ſo ungeheuer viele Grade der Färbung des Lichtes, daß zwei ganz gleichfärbige leuchtende oder beleuchtete Körper nicht gar häufig vorkommen, und doch begründet jede Farbenverſchiedenheit eine Art Ungleichartigkeit, die bei Dingen, deren eines durch das andere, oder die mit einem gemeinſchaftlichen Maße gemeſſen werden ſollen, ſchlechterdings nicht vorhanden ſeyn ſoll. Die Inſtrumente, welche zur Vergleichung verſchiedener Lichtſtärken dienen, heißen Photometer. Es gibt deren mehrere, darunter aber kein einziges, über deſſen Werth die Phyſiker einerlei Meinung wären. Alle beruhen darauf, daß man die Wirkungen der zu vergleichenden Lichtquellen entweder durch Veränderung ihrer Entfernung von der zu beleuchten-

den Fläche (Rumford's, Bouguer's, Wollaſtons, Ritchie's Photometer) oder durch Abſorption in Mitteln von verſchiedener Dicke (Lampadius, Maiſtre's Photometer), oder durch eine Anzahl von Reflexionen (Quetelet's Photometer), oder durch Verwandlung ihrer Bilder in Lichtflächen (Steinheil's Photometer), oder durch ſchnell auf einander folgende Unterbrechungen ihrer Einwirkung auf das Auge (Talbot's Photometer) zur Gleichheit bringt, und hieraus dann die eigentlichen Lichtſtärken berechnet. (Zeitſchr. 1. 72; 6. 466; Pogg. Ann. 29. 186, 490; 34, 644; 35, 457.)

Eines der einfachſten iſt das Rumford'ſche. Es beruht auf dem Grundſatze, daß der Schatten eines Körpers deſto dunkler erſcheint, je ſtärker ſeine Umgebung erleuchtet iſt, und beſteht im Weſentlichen aus einer vertical ſtehenden weißen Fläche, vor welcher in der Entfernung von einigen Zollen ein etwa ½ Zoll dicker cylindriſcher Stab ſteht. Will man den Glanz zweier leuchtenden Körper (für welche dieſes Inſtrument vorzüglich paßt) mit einander vergleichen, ſo ſtellt man ſie ſo hinter den Stab, daß derſelbe zwei Schatten auf die weiße Fläche wirft, und entfernt die eine oder die andere Lichtquelle ſo weit vom Stabe, bis beide Schatten gleich dunkel erſcheinen. In dieſem Falle verhalten ſich die Lichtſtärken wie die Quadrate der Diſtanzen der leuchtenden Körper von der Fläche. Nach Wollaſton wird das Licht der Sonne mit dem einer brennenden Kerze verglichen, indem man erſteres auf eine mit Queckſilber gefüllte Thermometerkugel fallen läßt, das durch Reflexion entſtandene Bild durch ein Fernrohr mit einem Auge, die Flamme der Kerze hingegen durch eine Convexlinſe mit dem andern Auge anſieht, endlich die Entfernungen dahin abändert, bis beide Bilder gleich hell erſcheinen, und dann aus dem Halbmeſſer der Kugel und den obwaltenden Entfernungen das Verhältniß der Lichtſtärke berechnet. Es iſt klar, daß man durch Vergleichung der Sonne und verſchiedener Sterne mit einem Kerzenlichte zur Kenntniß des Leuchtverhältniſſes jener Körper unter einander gelangen kann (Zeitſchrift 6. 466). Ritchie's Photometer beſteht aus einem Kaſten (Fig. 347), der beiderſeits offen und inwendig geſchwärzt iſt, und worin ſich zwei glatte, gegen einander um 90°, gegen die obere Wand des Kaſtens um 45° geneigte ebene Papierflächen a und b befinden, denen gegenüber eine Oeffnung E G angebracht iſt. Beim Gebrauche ſtellt man die zwei zu vergleichenden Körper den zwei Papierflächen im Kaſten gegenüber, ſo daß letztere durch erſtere Licht erhalten, und ändert dieſe Entfernung ſo lange ab, bis beide Lichtquellen den zwei Papierflächen eine gleiche Beleuchtung zu Theil werden laſſen; in dieſem Falle muß ſich der Glanz der Lichtquellen nahe wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den beleuchteten Flächen verhalten. Dieſes Inſtrument geſtattet eine große Präciſion, beſonders wenn man zur genauen Beſtimmung der gleichen Erleuchtung der zwei Papierflächen an der Oeffnung E G eine Convexlinſe anbringt und durch ſie auf jene Flächen hinſieht (Zeitſchr. 1. 71). Lampadius mißt die Lichtſtärke der Körper durch die Anzahl von Hornſcheiben, die gerade hinreicht, um alles Licht eines ſolchen zu abſorbiren. Maiſtre bedient ſich hiezu eines aus einem weißen und einem blauen Glasprisma zuſammengeſetzten Parallelepipeds, das mit dem dünnſten Theile des weißen Prisma's vor das Objectiv eines Fernrohres gebracht, hierauf das blaue Prisma ſo lange verſchoben wird, bis das dadurch geſehene Bild des helleren Körpers, dem des minder helleren mit

freiem Auge angeſehenen gleich iſt. Quetelet's Photometer beſteht aus einer ebenen Glasplatte mit vollkommen parallelen Wänden, die mit rechtwinkligen Dreiecken von Zinnfolie belegt ſind, welche eine ſolche Anordnung haben, daß ſie die Platte in Planſpiegel verwandeln, deren einer das einfallende Licht dem andern durch Reflexion zuſendet, bis es gänzlich verſchwindet. Steinheil's Photometer hat die ſpecielle Beſtimmung, die relativen Helligkeiten der Geſtirne zu meſſen, und beruht auf zweckmäßigem Gebrauche eines dazu beſonders vorgerichteten Fernrohres. Talbot's Photometer gründet ſich darauf, daß die Helligkeit eines leuchtenden Gegenſtandes, den man durch eine mit gleichen und gleichgeſtellten ſectorenförmigen Löchern verſehene ſchnell rotirende Scheibe betrachtet, in dem Verhältniß des (auf einem beſtimmten mit der Scheibe concentriſchen Kreiſe gemeſſenen) Abſtandes zweier benachbarten Oeffnungen zur Breite einer Oeffnung, verringert wird. Auch die Eigenſchaften des polariſirten Lichtes laſſen ſich zu photometriſchen Zwecken benützen.

Nach Wollaſton ſcheint das Sonnenlicht ſo ſtark wie jenes, das 5563 Kerzenflammen von 1 Fuß Entfernung ins Auge ſenden. Das Licht des Sirius iſt 20,000 Millionenmal ſchwächer als das Sonnenlicht, und neunmal ſtärker als jenes der Vega. Das Mondlicht hat $1/_{144}$ der Stärke des Kerzenlichtes in 12 Fuß Entfernung oder $1/_{801072}$ des Sonnenlichtes. Lambert gibt die mittlere Helligkeit des Mondes bei ſeinen verſchiedenen Phaſen folgender Maßen an:

Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit
0°	0 0000	70	0.3366	130	0,5747
10	0 0494	80	0 3814	140	0,6043
20	0 0986	90	0 4244	150	0.6294
30	0,1475	100	0 4657	160	0.6490
40	0,1959	110	0.5048	170	0.6619
50	0 2437	120	0 5413	180	0,6666
60	0 2907				

Die Einheit dieſer Zahlenangaben iſt die Helligkeit des Vollmondes an der von den Sonnenſtrahlen ſenkrecht getroffenen Stelle. Die mittlere Helligkeit der Planeten in der Oppoſition wird von Lambert folgender Maßen angegeben:

Merkur	6,6735	Mars	0,4307
Venus	1,9113	Jupiter	0,0370
Erde	1,0000	Saturn	0,0110

359. Will man mit einem Photometer die Lichtmenge beſtimmen, die ein durchſichtiger Körper reflectirt oder abſorbirt, ſo darf man nur die verhältnißmäßige Stärke zweier ziemlich conſtanten Lichtquellen, z. B. zweier Wachskerzen, auszumitteln ſuchen, wenn ſie ihr Licht unmittelbar auf den photometriſchen Apparat ſenden, und dann, wenn die Strahlen des einen vorläufig durch den zu prüfenden Körper gehen. Um wie vielmal das durch dieſen Körper gegangene Licht nun ſchwächer erſcheint als vorhin, ſo viel kommt auf Rechnung der Abſorption und Reflexion dieſes Körpers. Wäre z. B. die Flamme

einer Kerze dreimal ſtärker befunden worden, als die einer andern, aber nur ½ mal ſtärker als dieſelbe, wenn ihr Licht durch eine Glasplatte gegangen iſt; ſo beträgt die Menge der von der Glasplatte reflectirten und abſorbirten Strahlen ⅙ der auffallenden. Auf ähnliche Weiſe kann man auch die von einem Körper reflectirte Lichtmenge durch ein Photometer beſtimmen. Das Hauptwerk über Photometrie iſt: Lamberti Photometria. Aug. Vind. 1760. Ferner Bouguer sur la gradation de la lumière. Paris 1760.

Eilftes Kapitel.

Das Auge und das Sehen.

360. Durch den Sinn des Geſichtes gelangen wir zur Vorſtellung der Größe, Entfernung, Geſtalt, Lage, Bewegung und Farbe eines Körpers. Das Organ dieſes Sinnes iſt das Auge; der für den Phyſiker wichtigſte Theil deſſelben iſt der Augapfel. Dieſer befindet ſich in einer Höhlung im Kopfe, in welcher er durch Muskeln nach verſchiedenen Seiten bewegt werden kann, und iſt durch die Augenlieder und Augenwimpern vor äußeren zu ſtarken Einwirkungen und vor Unreinigkeit geſchützt. Der Augapfel (Fig. 348) hat nahe die Geſtalt einer Kugel und beſteht im Weſentlichen aus Häuten und ſogenannten Feuchtigkeiten. Die äußerſte, dicke, feſte, weiße, elaſtiſche Haut a heißt die harte Haut (tunica sclerotica); ihr vorderer durchſichtiger, mehr converer Theil b Hornhaut (cornea). Unter der harten Haut liegt die Aderhaut (tunica choroidea). Dieſe beſteht meiſtens aus kleinen Gefäßen, liegt hinten an die harte Haut an, trennt ſich aber vorne, wo die Hornhaut anfängt, von derſelben und geht in die Regenbogenhaut (iris) über. Dieſe hat in der Mitte eine Oeffnung, das Lichtloch c (pupilla), welche ſich erweitern und zuſammenziehen kann. Endlich befindet ſich innerhalb der Aderhaut die Netzhaut (retina), welche eine Ausbreitung des Sehnerves d iſt. Das Innere des Augapfels iſt durch die Regenbogenhaut in zwei Kammern getheilt, welche durch die Pupille mit einander in Communication ſtehen. In dieſen Kammern befinden ſich die Feuchtigkeiten. Die innere Kammer zwiſchen der Netzhaut und der Regenbogenhaut enthält die Glasfeuchtigkeit, eine äußerſt durchſichtige, gallertartige Subſtanz. In einer Vertiefung derſelben gegen vorne liegt die zwar beiderſeits, aber ungleich convexe, nach Krauſe's vielen und ſorgfältigen Meſſungen vorne elliptiſch, rückwärts paraboliſch gekrümmte Kryſtalllinſe e, die aus zarten Platten beſteht, welche inwendig einen dichteren Kern in ſich ſchließen; ihre convexe Seite iſt gegen die Netzhaut gekehrt. Sie befindet ſich in einer durchſichtigen Kapſel, welche nach Th. Smith am Umfange mit einem Muskelbündel verſehen iſt. Zwiſchen der Linſe und der Hornhaut iſt endlich eine waſſerhelle, etwas

ſalzige Flüſſigkeit, die ſogenannte wäſſerige Feuchtigkeit, enthalten. Die Augen vieler Thiere, wie z. B. der meiſten Säugethiere, der Vögel, ſind denen des Menſchen ſehr ähnlich. Fiſche haben eine faſt kugelförmige Kryſtalllinſe, nur wenig Glasfeuchtigkeit und faſt keine Waſſerfeuchtigkeit. Inſecten haben zwei Arten von Augen, kleine einfache und große facettirte. Beide kommen in verſchiedener Anzahl vor. (Anatomiſche und phyſiologiſche Darſtellung des menſchlichen Auges von F. Müller. Wien, 1819. Müller's Handbuch der Phyſiologie des Menſchen. Berlin, 1837. Ueber die Dimenſionen des Auges und ſeiner Theile ſ. Krauſe in Pogg. Ann. 39. 529.)

361. Kommt von einem leuchtenden Puncte Licht ins Auge, ſo dringt der auf die Pupille fallende Strahlenkegel in daſſelbe ein und wird durch Brechung in den verſchiedenen brechenden Mitteln des Auges zu einem Bilde vereinigt. Das Bild im Auge afficirt den Sehnerv und regt dadurch das Empfindungsvermögen an, in Folge deſſen das Sehen erfolgt. Wie dieſes vor ſich gehe, wäre eine für den Phyſiker fremdartige Unterſuchung, wenn ſie auch innerhalb der Grenzen des menſchlichen Wiſſens läge; kaum zu bezweifeln aber iſt, daß es in Folge einer beſonderen Bewegung der betreffenden Stellen der Netzhaut erfolge.

Im Sinne der Vibrationshypotheſe muß das Sehen vermöge äußerſt raſcher Schwingungen vor ſich gehen, in welche die Netzhaut durch den Einfluß einer großen Reihe von Aethervibrationen verſetzt wird. Dieſe Schwingungen der Netzhaut können natürlich nicht allein von der Quantität der Bewegung des Aethers abhängen, ſondern es muß darauf auch die größere oder geringere Leichtigkeit Einfluß haben, mit welcher die Theilchen der Netzhaut vermöge der ihnen eigenen Elaſticität den Aethervibrationen folgen. Schwingungen, welche außerhalb der Grenzen des Spectrums liegen, erregen die Empfindung des Sehens nicht mehr, weil denſelben die Elaſticität der Netzhaut nicht günſtig iſt, und unter den Vibrationen innerhalb der Grenzen des Spectrums erregen die zwiſchen Gelb und Orange liegenden die intenſivſten Schwingungen der Netzhaut, weil dieſe von der Elaſticität derſelben am meiſten begünſtigt werden. Melloni meinte es ſtehe damit die gelbe Farbe des empfindlichſten Fleckes der Netzhaut, nämlich des ſogenannten Sömmering'ſchen (Buzziſchen) Flecks in Verbindung. (Pogg. Ann. 56. 574.)

362. Damit dieſes Bild auf die gehörige Weiſe wahrgenommen werden könne, muß es deutlich, hinreichend hell ſeyn, gerade auf die Netzhaut fallen, eine hinreichende Größe haben und lange genug anhalten. Zur Erzielung der nöthigen Deutlichkeit iſt das Auge ſo eingerichtet, daß die Bilder von der ſphäriſchen Abweichung frei ſind. Zur Aufhebung dieſer Abweichung trägt vorzüglich die geringe Ausdehnung der Pupille, die Form der Kryſtalllinſe, die Lage der als Blendung dienenden Iris und endlich die Wölbung der Netzhaut bei; von der chromatiſchen Abweichung iſt das Bild im Auge nicht frei, und die brechenden und zerſtreuenden Kräfte der Kryſtall- und Glasfeuchtigkeit ſind von der Art, daß ſie eine chromatiſche Compenſation unmöglich machen; auch iſt der voll-

kommene Achromatiſmus des Auges nicht nothwendig, da man ohnehin nur die in der Axe oder nahe an ihr liegenden Objecte deutlich ſieht (Gilb. Ann. 56. 301). Um dem Bilde die nöthige Helligkeit zu verſchaffen, muß der ihm entſprechende Gegenſtand die gehörige Lichtmenge ins Auge ſenden; bei zu ſtarkem Lichte zieht ſich die Pupille zuſammen und läßt nur einen kleinen Lichtkegel ins Auge gelangen, bei zu ſchwachem erweitert ſie ſich und nimmt einen größeren Lichtkegel auf; doch hat dieſes ſeine Grenzen und man kann weder bei zu ſtarker, noch bei zu ſchwacher Beleuchtung hell ſehen, aber dieſe Grenzen liegen ſehr weit aus einander. Wenn das Licht von ſeinem Mittel nicht geſchwächt würde, ſo müßten leuchtende und beleuchtete Körper in jeder Entfernung gleich hell erſcheinen. Bei größerer Entfernung kommen zwar von jedem Puncte weniger Strahlen ins Auge, aber die Bilder der einzelnen phyſiſchen Puncte rücken einander in demſelben Maße näher und das ganze Bild des Objectes wird in demſelben Verhältniſſe kleiner. Es kann demnach die Entfernung an und für ſich keinen Einfluß auf die Helligkeit der Bilder im Auge ausüben. Wo eine Abnahme des Glanzes leuchtender Körper bei wachſender Entfernung Statt findet, da rührt ſie bloß von der abſorbirenden Kraft des Mittels her.

Man kann beim Lichte einer Wachskerze und bei dem vielmal ſtärkeren Sonnenlichte, ja ſogar bei dem viel ſchwächeren Lichte des Vollmondes leſen. Augen, die an ſparſames Licht gewöhnt ſind, ſehen ſelbſt dort noch hell genug, wo es für den im vollen Tageslichte Wandelnden dunkle Nacht iſt. Ein mechaniſcher Druck auf das Auge ſteigert deſſen Empfindlichkeit für das Licht und ſcheint in vielen Fällen ſelbſt eine Lichtempfindung hervorzubringen, wie die von Purkinje und Quetelet beobachteten Farbenerſcheinungen zeigen, welche man wahrnimmt, wenn man ein oder beide geſchloſſene Augen drückt. Geſchieht letzteres nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo ergeben ſich ziemlich complicirte Viſionen (Pogg. Ann. 31. 494). Eigenthümliche Erſcheinungen bemerkt man, wenn die Augen, nachdem ſie im Dunkeln waren, plötzlich von ſtarkem durch die Augenlieder eindringenden Lichte getroffen werden. Sie wurden zuerſt von Miß M. Griffiths beſchrieben (Pogg. Ann. 3. 477). Die von Peclet und nach ihm von Aimé unterſuchten zahlreichen ſchwarzen Striche, die man bei dem Hindurchſehen durch eine enge Spalte bemerkt (welche nicht mit den Beugungserſcheinungen, die eine ſolche Spalte veranlaßt, zu verwechſeln ſind), und ähnliche Phänomene rühren theils von ungleichförmiger Anhäufung der Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Auges, theils von ſehr kleinen minder durchſichtigen Pünktchen im Innern des Auges her. (Pogg. Ann. 3 479; 4. 577.)

363. Es iſt nicht zu bezweifeln, daß die Netzhaut allein der wahre Sitz der dem Sehen entſprechenden Nervenaffection ſey, doch beſchränkt ſich die Wirkung des Lichtes nicht auf die unmittelbar getroffene Stelle, ſondern erſtreckt ſich auch auf die nächſte Umgebung derſelben, etwa ſo, wie ein Druck auf ein geſpanntes Tuch rings um die gedrückte Stelle eine Einbiegung erzeugt (Pogg. Ann. 27. 490, 29. 339; Zeitſchr. n. F. 2. 236). Hierauf beruht das Phänomen der ſogenannten Irradiation, welches darin beſteht, daß ein ſchma-

ler heller Gegenſtand auf einem dunklen Grunde merklich breiter erſcheint.

Es iſt klar, daß bei unveränderlicher Einrichtung des Auges nur von Gegenſtänden, die eine gewiſſe Entfernung vom Auge haben, das Bild auf die Netzhaut fallen kann. Da aber die Erfahrung lehrt, daß man Gegenſtände von verſchiedener Entfernung deutlich ſieht; ſo muß in der Einrichtung des Auges etwas veränderlich ſeyn. Ob dieſes die Lage oder Geſtalt der Linſe oder der Netzhaut ſey, iſt nicht entſchieden; wahrſcheinlich iſt es aber, daß die Linſe durch Zuſammenziehen der an der Kapſel angehefteten Muskel convexer gemacht und der Entfernung der Gegenſtände angepaßt werden kann. Man empfindet es in der That, es ändere ſich im Auge etwas, wenn man es von einem nahen Objecte auf ein ferneres richtet (Brewſter in Pogg. Ann. 2. 271). Ein Theil dieſer Veränderung hängt von unſerem Willen, ein anderer aber nur vom Lichteindrucke ab. Doch hat dieſe Richtkraft des Auges ihre Grenzen und das Auge vermag im geſunden Zuſtande nicht das Bild eines Gegenſtandes, der ihm näher ſteht als 8 — 10 Zoll, auf die Netzhaut zu bringen. Darum ſieht man auch nur jene Gegenſtände, die außerhalb dieſer Grenze liegen, mit gehöriger Deutlichkeit. An dieſer Grenze ſelbſt iſt das Bild deutlich und zeigt ſich am hellſten und größten; darum heißt die Entfernung von 8—10 Z. die Entfernung des deutlichen Sehens (Sehweite). Man ſieht demnach in jeder Entfernung, die nicht kleiner iſt als 8 — 10 Z., Objecte deutlich, und nimmt darum nicht ſelten an, daß zum deutlichen Sehen parallele Strahlen erfordert werden, wiewohl dieſe Annahme nicht ganz richtig iſt, aber ſie gewährt in der Rechnung manche Vortheile. Bei einigen Menſchen iſt die Entfernung des deutlichen Sehens bedeutend kleiner, bei andern viel größer als die vorhin angegebene. Erſtere heißen kurzſichtige, letztere weitſichtige: jener Fehler läßt ſich durch den Gebrauch von Hohllinſen, dieſer durch den Gebrauch von Convexlinſen verbeſſern. Der Grund davon liegt darin, daß jene ein Bild geben, das minder vom Auge entfernt iſt, als der Gegenſtand, dieſe hingegen eines, deſſen Entfernung die des Gegenſtandes übertrifft. Unter Waſſer iſt jedes Menſchenauge ſehr weitſichtig und kann nur mittelſt einer ſehr convexen Linſe deutlich ſehen. Ohne dieſe vernimmt es von einem Gegenſtande nur einen Lichtſchein, aber kein Bild. (Muncke in Pogg. Ann. 2. 257.)

Nur die vorhandene Kurzſichtigkeit und Weitſichtigkeit deutet an, daß man Brillen brauchen ſoll, nicht etwa der Umſtand, daß man mit Brillen heller ſieht, als ohne ſie. Daher werden auch für ein Auge nicht jene Brillen paſſen, mit denen es am ſchärfſten ſieht, ſondern die ſchwächſten von allen denen, mit welchen es in der Sehweite deutlich ſieht. Jede Brille ſoll genau ſphäriſche Krümmungen haben; darum haben auch nicht Brillen von jedem Künſtler gleichen Werth. Oft muß die Brille für ein Auge ſtärker ſeyn, als für das andere; manches Auge braucht gar cylindriſche Brillen (Zeitſchr. 3. 452). Gewöhnliche Brillen aus farbigem Glaſe ſind an den dickeren Stellen dunkler und intenſiver gefärbt als an den dünneren; iſochromatiſche Brillen

(aus weißem Glaſe mit daran gekitteten blauen, allenthalben gleich dicken Schalen) ſind allenthalben gleich gefärbt und ſchon darum ſehr zu empfehlen. Periſcopiſche Brillen (aus Menisken) haben zwar den Vortheil, daß man durch ſie auch die ſeitwärts gelegenen Objecte noch deutlich ſieht, ſpiegeln aber zu ſehr. Jede Brille ſoll möglichſt nahe am Auge ſeyn; darum die Sattelbrillen nichts taugen. Beim Auswählen einer Brille ſoll man ſtets mit ſchwächeren anfangen und zu den ſtärkeren aufſteigen, nicht aber umgekehrt, und man darf nicht vergeſſen, daß ſich das Auge ſchnell nach der gebrauchten Brille richte und das Urtheil über die Zweckmäßigkeit einer ſolchen beirre. Wer daher nicht nach der zweiten Wahl die richtige Brille gefunden hat, fahre nicht fort, noch weitere Auswahl zu treffen, ſondern gönne dem Auge einige Ruhe. Betrachtet man eine in ein durchſichtiges Plättchen gebohrte kleine Oeffnung oder eine eingeſchnittene ſchmale Spalte durch zwei in einer andern dicht vor das Auge gehaltenen Platte angebrachte, einander ſehr nahe Oeffnungen oder Spalten; ſo erſcheint erſtere einfach oder doppelt, je nachdem ſie ſich in der Sehweite des Auges befindet oder nicht. Im letzteren Falle vereinigen ſich nämlich die von ihr ausgehenden, durch beide Oeffnungen in das Auge eindringenden Lichtbündel nicht auf der Netzhaut zu einem Bilde, ſondern dieſe wird an zwei getrennten Stellen afficirt. Hierauf gründen ſich eigene Inſtrumente (Brillenmeſſer, Optometer), welche ſchnell die Brennweite der dem Auge angemeſſenen Brille angeben. (Stampfer in Jahrb. des k. k. polyt. Inſt. B. 17; Adams Anweiſung zur Erhaltung des Geſichtes ꝛc., a. d. Engl. Gotha, 1794. Young on Natural Philosophy. II. 515).

364. Wenn das Bild auf der Netzhaut noch deutlich wahrgenommen werden ſoll, ſo muß es eine gewiſſe **Größe** haben, die von der Beſchaffenheit des Auges und von der Beleuchtung des Gegenſtandes abhängt. Für ein gewöhnliches Auge muß das Bild eines mäßig erleuchteten Objectes $^1/_{1000}$ Z. lang oder breit ſeyn, mithin unter $^1/_2$ Min. erſcheinen; einen glänzenden Silberdraht ſieht man aber noch unter einem Winkel von 2 Sec., und ſelbſtleuchtende Gegenſtände noch, wenn dieſer Winkel nicht mehr meßbar iſt, doch bleibt zuletzt von ihnen nur mehr ein Lichtſchein übrig. Plateau ſah Weiß im Sonnenlichte bei 12″, Gelb bei 13″, Roth bei 23″, Blau bei 26″; im Schatten war jeder Winkel etwa um $^1/_3$ größer. Jeder Lichteindruck braucht ſowohl zu ſeiner vollkommenen Entwicklung, als zum völligen Verſchwinden eine gewiſſe Zeit. Dieſe richtet ſich, Plateau's Verſuchen zu Folge, bei übrigens gleichen Umſtänden nach der Farbe. Den dauerndſten und ſtärkſten Eindruck hinterläßt Weiß, dann folgen in der Ordnung: Gelb, Roth, Blau. Die mittlere Dauer aller Farben, vom Momente der größten Stärke an, bis zum völligen Verſchwinden beträgt 0″,34. Folgen Eindrücke ſehr ſchnell auf einander, ſo fließen deren mehrere in einen zuſammen und das Auge erhält von allen nur einen einzigen, continuirlichen Eindruck, es verſchwinden die zwiſchen den einzelnen Affectionen liegenden Pauſen und das Auge erhält eine Reihe zuſammenhängender Eindrücke. Geht der Eindruck zu ſchnell vorüber, ſo nimmt man nichts davon wahr. Darum ſieht man eine abgeſchoſſene Flintenkugel nicht in ihrem Fluge. Nach Schmidt verſchwinden die Umriſſe eines $28^1/_2$ Z. vom Auge entfern-

ten Körpers, wenn er in einer Secunde einen Bogen von 198° 51′ und der Gegenſtand ſelbſt, wenn er 265″ 8′ zurücklegt. Das Deutlichſehen außer der Augenaxe liegender Puncte wird durch die große Beweglichkeit des Augapfels, vermöge welcher mehrere Puncte ſchnell hinter einander in dieſe Axe gebracht werden, und durch die den Eindruck überdauernde Wirkung des Lichtes möglich.

365. Von der Größe des Bildes im Auge hängt die ſcheinbare Größe der auf einmal überſehenen Gegenſtände ab; es muß daher alles, was jene ändert, auch eine entſprechende Aenderung in dieſer hervorbringen. Nach den Ergebniſſen directer an Menſchen- und Thieraugen angeſtellten Beobachtungen ſchneiden ſich die geraden Linien, welche verſchiedene Puncte, die zugleich geſehen werden, mit ihren Bildern auf der Netzhaut verbinden, in einem und demſelben Puncte im Innern des Auges. Dieſen Punct kann man nach Volkmann den Kreuzungspunct, jene geraden Linien aber Richtungslinien nennen. Iſt daher A B (Fig. 349) ein leuchtender Gegenſtand, DE ein Stück der Netzhaut, b a das Bild des Gegenſtandes auf ihr; ſo ſind die Geraden A a, B b die Richtungslinien für die Puncte A und B, und deren Durchſchnittspunct C iſt der Kreuzungspunct. Kennt man die Lage deſſelben im Auge, ſo geben die von den äußerſten Puncten A und B irgend eines Gegenſtandes durch ihn gehenden Strahlen die Größe des Bildes a b, welches im Auge entſteht. Da dieſe offenbar von der Größe des Winkels A C B abhängt, ſo kann man letzteren mit Recht den Geſichtswinkel (angulus opticus) nennen, und als das Maß der ſcheinbaren Größe eines Gegenſtandes anſehen. Er wird aber ſelbſt durch die abſolute Größe des Gegenſtandes und durch ſeine Entfernung vom Auge beſtimmt, und iſt deſto größer, je größer jene und je kleiner dieſe iſt. Die ſcheinbare Größe eines Gegenſtandes, den man nicht auf einmal überſieht, wird theils durch die Größe ſeiner auf einmal überſehenen Theile, theils durch den Weg beſtimmt, den das Auge durchlaufen muß, um alle ſeine Theile hinter einander zu überſehen.

Der Kreuzungspunct fällt nach Volkmann (Pogg. Ann. 37, 342; 45. 207) hinter die Kryſtalllinſe nahe in die Mitte des Augapfels; um ihn dreht ſich das Auge bei allen ſeinen Bewegungen, weßhalb er ihn auch den Drehpunct nennt. Zwei leuchtende Puncte, deren Richtungslinien in dieſelbe Gerade fallen, decken ſich. Nennt man Richtungsſtrahl eine durch zwei Puncte, welche dem Auge ſich zu decken ſcheinen, gezogene Gerade, ſo ſind die Richtungslinien und Richtungsſtrahlen derſelben identiſch, ſo daß beide Benennungen auch für einen Punct gemeinſchaftlich gebraucht werden dürfen. Der Richtungsſtrahl eines Punctes (wenn er ſich unter den in das Auge eindringenden Strahlen befindet) trifft dem gemäß, ungeachtet der Brechungen, welche er im Auge erleidet, zuletzt doch jene Stelle der Netzhaut, wohin er gekommen wäre, wenn er ungebrochen durch das Auge hätte gehen können Gegen dieſe Behauptungen Volkmann's ſind jedoch von mehreren Seiten Einwendungen gemacht worden (Mile in Pogg. Ann. 42. 37 und 235; Knochenhauer ebend. 46. 248). Es ſcheint ſonach der Kreuzungspunct der Richtungslinien des Sehens entfernter

von der Netzhaut als der Mittelpunct des Auges zu liegen und vom Drehpuncte des Auges verſchieden zu ſeyn.

366. Das Bild der Gegenſtände erſcheint zwar im Auge, aber wir verſetzen es auf eine unerklärbare Weiſe außer uns, in eine Entfernung, die nicht durch unmittelbare Empfindung gegeben iſt, weil ſie nicht von dem Wege abhängt, den ein Strahl gemacht hat, bevor er in das Auge kommt. Alles, was wir über Entfernung eines Gegenſtandes von uns wiſſen, iſt Folge eines Urtheils, das durch Empfindungen, die ſich mit der Entfernung der Gegenſtände vom Auge ändern, beſtimmt wird. Auf dieſe Empfindungen haben Einfluß: 1) Der Winkel, den die Augenaxen mit einander machen; d. h. die Linien, welche von einem leuchtenden Puncte aus durch die Mitte beider Augenöffnungen gehen. Wenn wir die Entfernungen eines Gegenſtandes beurtheilen wollen, richten wir beide Augenaxen (das Schielen ausgenommen) auf einen Punct deſſelben; je näher dieſer liegt, deſto größer iſt der Winkel der Augenaxen und deſto mehr Anſtrengung koſtet es den Muskeln, dieſe Richtung herzuſtellen. Es ſteht daher die Empfindung dieſer Anſtrengung mit der Entfernung des leuchtenden Punctes in Verbindung. Dieſes Beurtheilungsmittel fehlt jenem ganz, der nur mit einem Auge auf einen Gegenſtand ſieht; darum irrt er ſich häufiger in ſeinem Urtheile, wie folgender Verſuch zeigt: Hängt man einen kleinen Ring an einem dünnen Faden frei auf und ſtellt ſich ſo, daß man ſeine Oeffnung nicht ſieht, nimmt endlich einen Stab von ungefähr drei Fuß Länge zur Hand, der an einem Ende unter einem rechten Winkel gebogen iſt; ſo wird man mit dieſem Haken die Oeffnung des Ringes meiſtens verfehlen, wenn man bloß mit einem Auge darauf ſieht, während man den Ring leicht anfaßt, wenn man beide Augen zu Hilfe nimmt. 2) Die Stärke der Beleuchtung eines Objectes. Nimmt dieſe ab, ſo ſcheint ſeine Entfernung von uns zu wachſen. 3) Die Menge der zwiſchen dem Auge und dem Gegenſtande liegenden Dinge. 4) Die ſcheinbare Größe. 5) Seine Lage gegen die Dinge von bekannter Entfernung. Je mehr ſolche Empfindungen auf unſer Urtheil über die Entfernung Einfluß haben, deſto richtiger wird es ausfallen. Bei nahen Gegenſtänden helfen faſt alle erwähnten Puncte zuſammen und gewähren uns eine große Sicherheit des Urtheils; je größer die Entfernung wird, deſto mehr ſieht man ſich dieſer Hilfsmittel beraubt, bis endlich bei einer Entfernung, welche eine gewiſſe Grenze überſteigt, nichts übrig bleibt, auf das wir unſer Urtheil ſtützen könnten.

Anders verhält es ſich mit der ſcheinbaren Entfernung der auf einmal geſehenen Gegenſtände von einander. Dieſe wird bloß durch den Abſtand der Bilder dieſer Gegenſtände im Auge beſtimmt und verhält ſich daher wie die ſcheinbare Größe deſſelben. Darum können wir die gegenſeitige Entfernung ſolcher Objecte, die in der Richtung der Augenaxen liegen, nicht beurtheilen. Bei der Betrachtung eines Gegenſtandes mit beiden auf gehörige Weiſe gegen ihn gekehrten Augen fallen die Bilder auf der Netzhaut eines jeden auf gleich ge-

legene Stellen und nehmen Geſtalten an, welche von der Entfernung und Lage des Gegenſtandes gegen die Augen abhängen; eine durch den Gebrauch des Geſichtsorganes begründete Fertigkeit in der Beurtheilung ſeiner Ueberlieferungen leitet uns an, die durch beide Bilder hervorgerufenen Eindrücke auf Einen Gegenſtand zu beziehen, daher wir in der Regel die Gegenſtände mit beiden Augen nur einfach ſehen. Wenn man aber die Augen mittelſt der dieſelben bewegenden Muskeln verdreht, wie es beim willkürlichen Schielen der Fall iſt, oder ein Auge mit dem Finger ſeitwärts drückt und dadurch bewirkt, daß die zwei Bilder in beiden Augen nicht mehr auf die gehörigen Stellen der Netzhaut fallen, ſo ſieht man das Object doppelt. (Zeitſchr. 5. 117.)

367. Mit der ſcheinbaren Größe eines Dinges iſt uns zugleich der **Umriß** ſeiner uns zugekehrten Fläche, und mit der Entfernung jedes einzelnen Punctes derſelben auch zugleich die räumliche Beſchaffenheit dieſer Fläche gegeben, daher durch beides deſſen **Geſtalt**. Nicht ſelten iſt uns zur Beurtheilung der Geſtalt eines Körpers innerhalb ſeiner Umriſſe die Vertheilung des Lichtes auf ihm und die Lage ſeines Schattens behülflich. An einem convexen Körper iſt immer ein Punct leuchtender als die andern (point brillant), und der Schatten eines ſolchen liegt der Lichtquelle gegenüber; bei einem concaven liegen die Lichtquelle und der Schatten auf derſelben Seite. Die Beſchaffenheit des Bildes auf der Netzhaut, welches gleichſam eine Projection des Gegenſtandes auf die hintere Wand des Auges darſtellt und bei einem erhabenen Gegenſtande anders ſich geſtaltet als bei einem hohlen von ähnlicher Figur und Stellung, liefert an ſich ſchon einen Anhaltspunct zur Beurtheilung der Convexität und Concavität. Bei einem Gegenſtande, der in ſo großer Entfernung geſehen wird, daß die auf ihn gerichteten Augenaxen als parallel angeſehen werden können, iſt die perſpectiviſche Anſicht für jedes Auge dieſelbe, und man ſieht ihn demnach mit beiden Augen ſo, wie mit einem einzigen, auch wird da zwiſchen einer treuen perſpectiviſchen Zeichnung eines ſolchen und ihm ſelbſt kein Unterſchied Statt finden. Dieſe Gleichheit der Erſcheinung für beide Augen verſchwindet aber, ſobald der Gegenſtand den Augen ſo nahe ſteht, daß die Axen der auf ihn gerichteten Augen nicht mehr als parallel angeſehen werden können, und es deckt nun der Gegenſtand nicht bloß für jedes Auge einen anderen Theil des fernen Geſichtsfeldes, ſondern er bietet auch jedem Auge eine andere Anſicht dar. Das gleichzeitige Daſeyn zweier ſolcher verſchiedenen Bilder macht, daß man ein Object mit drei Dimenſionen wahrnimmt. Welche wichtigen Dienſte bei nahen Gegenſtänden in dieſer Hinſicht der Gebrauch beider Augen leiſtet, weiſet das von **Wheatſtone** erfundene **Stereoſkop**, mittelſt deſſen zwei verſchiedene perſpectiviſche Zeichnungen den Eindruck eines einzigen Körpers hervorbringen.

Das **Stereoſkop** beſteht aus einem an der Rückſeite offenen Kaſten **ABCD** (Fig. 350). An deſſen Vorderwand ſind zwei Oeffnungen **O**, **O′**

für beide Augen angebracht, hinter welchen zwei gegen einander rechtwinklig geneigte ebene Spiegel EF, EG aufgeſtellt ſind, ſo daß die Halbirungslinie des Winkels FEG die Wand AC in der Mitte zwiſchen O und O′ ſenkrecht ſchneidet, daher die Spiegelfläche EF mit AB und AC und eben ſo EG mit CD und AC einen Winkel von 45° bildet. Eine auf AB angebrachte Zeichnung wird mittelſt des Spiegels EF nur von dem Auge O, und eine Zeichnung auf CD mittelſt des Spiegels EG nur von dem Auge O′ wahrgenommen. Durch ſchickliche Stellung der Zeichnungen und der Spiegelkante E gegen AC, bringt man es leicht dahin, daß beide Bilder an derſelben Stelle H geſehen werden. Entſprechen die an AB und CD aufgeſtellten Zeichnungen den Anſichten eines bald mit dem einen bald mit dem anderen Auge betrachteten erhabenen oder hohlen Gegenſtandes, ſo wird derſelbe durch das Zuſammenwirken beider Zeichnungen auf das täuſchendſte dargeſtellt. So ſieht man, wenn man M auf AB, m auf CD ſetzt, den kleineren Kreis mit dem größeren concentriſch, und erſteren vor oder hinter letzterem ſchwebend, je nachdem die Stellen Xx gegen AC gekehrt ſind oder die entgegengeſetzte Lage haben. Unter denſelben Umſtänden ſtellen die Zeichnungen N, n eine erhabene oder hohle Pyramide dar. (Pogg. Ann. 47. 625. Ergänzungsband 1. 1.)

368. Die **Lage**, welche die Bilder mehrerer Gegenſtände im Auge zu einander haben, gibt die **ſcheinbare Lage** dieſer Gegenſtände ſelbſt. Wiewohl das Bild gegen ſeinen Gegenſtand verkehrt erſcheint, ſo haben doch die zugleich geſehenen Bilder unter einander dieſelbe Lage, wie die ihnen entſprechenden Dinge außer dem Auge, und erſcheinen uns demnach auch in **natürlicher** Lage. Daß ſie **aufrecht** erſcheinen, hat den Grund in der Art, wie das Licht die Netzhaut afficirt. Worin die Natur des Lichtes auch immer beſtehen mag, ſo muß doch die Affection der Netzhaut durch einen Stoß erfolgen, der ſich in das Innere derſelben in unveränderter Richtung fortpflanzt. Der Stoß der Strahlen, die vom unterſten Puncte eines Objectes kommen, nimmt die Richtung durch dieſen Punct von unten nach oben; diejenigen Strahlen, welche vom oberſten Puncte in's Auge kommen, zielen von oben nach unten, und es iſt daher dem gewöhnlichen Gange unſerer Empfindung gemäß, das als unteres zu erkennen, das von unten aus, jenes als oberes, das von oben aus auf das Auge wirkt.

Hält man vor das Auge ein Kartenblatt mit einer kleinen Oeffnung, und zwiſchen die Oeffnung und das Auge eine Stecknadel, ſo erblickt man dieſelbe außerhalb des Blattes und aus dem angegebenen Grunde in verkehrter Lage, obgleich das Schattenbild der Nadel auf der Netzhaut eine aufrechte Lage hat.

369. Die **Bewegung** der Bilder im Auge liefert uns den Stoff zur Beurtheilung der Bewegung. Da aber die Bewegung des Bildes nicht bloß von der des Gegenſtandes abhängt, ſondern auch von der des Auges; ſo wird man die Frage, welcher Körper eigentlich der bewegte ſey, nicht durch den Sinnenſchein beantworten können. Die Bewegung ſelbſt iſt nur wahrnehmbar, wenn der in einer Secunde zurückgelegte Weg bemerkbar groß iſt. Nach **Schmidt** darf der in

einer Secunde zurückgelegte Bogen in der deutlichen Sehweite nicht unter $2^1/_4$ Minute betragen.

370. Farbe iſt Gegenſtand der Empfindung und nur in ſo ferne vorhanden, als es ein empfindendes Subject gibt. Dieſelbe hängt daher ſtets nur zum Theil vom Gegenſtande ab, der das Licht ins Auge ſendet, zum Theil aber vom ſehenden Subjecte. (Manchen Perſonen mangelt die Fähigkeit, gewiſſe Farben, beſonders Farbenabſtufungen, zu unterſcheiden. Eine wiſſenſchaftliche Zuſammenſtellung merkwürdiger Fälle hievon gibt A. Seebeck in Pogg. Ann. 42. 177. Vergleiche hiemit 361. Anm.) In ſo ferne gibt es alſo keine rein objective Farbe. Doch lehrt die Erfahrung, daß Gegenſtände in der Regel ſo lange von derſelben Farbe erſcheinen, als ſie Licht von derſelben Brechbarkeit ins Auge ſenden, zum Beweiſe, daß dieſe Brechbarkeit die Farbe hauptſächlich beſtimme. Ferner weiß man, daß ein Körper, welcher Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit in gehörigem Verhältniſſe ins Auge ſendet, weiß erſcheint, hingegen ſchwarz, wenn er von keiner Strahlengattung ſo viele dahin ſchickt, daß ein gehöriger Eindruck gemacht werden kann. Körper, die nicht alle Strahlengattungen, ſondern nur einige derſelben dem Auge zuſenden, erſcheinen von der Farbe, die aus ihrem Geſammteindrucke hervorgeht. Faſt alle Farben entſtehen auf dieſe Weiſe durch Zuſammenſetzung der Eindrücke mehrerer verſchiedenfarbigen Strahlen, weil faſt kein Körper nur eine einzige Strahlengattung ins Auge ſendet, ſondern immer mehrere derſelben dahin gelangen. Solche Zuſammenſetzungen verſchiedener Farbeneindrücke zu einer einzigen Farbe können Statt finden, wenn verſchiedenfarbige Strahlen auf einmal oder ſchnell hinter einander ins Auge treten; doch erzeugen ſie ſelbſt bei einerlei Beſchaffenheit der Strahlen nicht in beiden Fällen dieſelbe Farbe. Bemalt man mit einem gehörigen Gemenge von Berlinerblau und Gummigutte ein weißes Papier, ſo erſcheint dieſes ſchön grün. Theilt man nun eine Kreisſcheibe in zwei Sectoren, bemalt einen mit Gummigutte, den anderen mit Berlinerblau recht ſtark, und dreht dann die Scheibe; ſo erhält man eine andere Farbe, die ſelbſt wieder von der Schnelligkeit der Rotation, alſo von der Folge und der Entwicklung der auf einander folgenden Eindrücke abhängt. Dreht man nämlich nicht ſo ſchnell, daß ein gleichförmiger Farbenton hervorgeht, ſo erſcheint auf der Scheibe ein lebhaftes Weiß und Orange; wird aber ſo ſchnell gedreht, daß man die Scheibe gleichförmig gefärbt ſieht, ſo erſcheint dieſelbe vollkommen grau, und nur, wenn man das Blau ſehr blaß aufträgt, kann man einen Stich ins Grüne hervorbringen. Aehnliche Erſcheinungen erhält man mit anderen Pigmenten. (Pogg. Ann. 20. 328.) Zur Hervorbringung ſolcher Erſcheinungen iſt der von Buſolt angegebene Farbenkreiſel vorzüglich brauchbar. (Pogg. Ann. 32. 656.)

Farbe iſt von dem, was man Farbeſtoff nennt, weſentlich verſchieden, wiewohl man oft beide mit dem Worte Farbe bezeichnet, Erſtere iſt eine eigenthümliche Empfindung, letzterer ein Materiale,

welches die dieſe Empfindung erregenden Strahlen dem Auge zuſendet. Einen Körper färben heißt demnach, ihn mit einem Stoffe überziehen oder ſeine chemiſche Natur dahin abändern, daß er beſtimmte Strahlen reflectirt.

371. Ob eine Farbe für ſich, oder nur im Vergleiche mit einer anderen, entweder vorliegenden oder im Gedächtniß behaltenen, beſtimmt werden kann (etwa ſo, wie man die Höhe eines Tones nur im Vergleiche mit einem anderen beurtheilen kann), darüber haben ſich die Phyſiker bis jetzt noch nicht beſtimmt ausgeſprochen; doch iſt letzteres das Wahrſcheinlichere. In vielen Fällen tritt bei der Beſtimmung einer Farbe der ſubjective Einfluß des Sehenden ſehr hervor. Es muß nämlich jeder Lichteindruck eine, wenn auch unmerklich kurze Zeit dauern, um im Auge jene Stärke zu erlangen, deren er fähig iſt, und dieſe Zeit iſt ſogar für verſchiedene Farben verſchieden. Wirken demnach mehrere farbige Strahlen gleichzeitig, aber nur ſchnell vorübergehend auf das Auge, ſo wird jene Farbe das Uebergewicht erhalten und ſich mehr oder allein geltend machen, deren Eindruck in dieſer Zeit zur größeren Entwicklung gelangte. Ferner dauert der Lichteindruck, dem das Auge eine Weile ausgeſetzt war, noch fort, wenn auch die objective Einwirkung bereits aufgehört hat, und auch dieſes Ueberdauern des Eindruckes iſt für verſchiedene Farben verſchieden. Demnach muß, wenn gleichzeitig verſchiedenfarbiges Licht auf das Auge gewirkt hat, der Eindruck der einen Farbe nach jenem der andern verlöſchen und demnach die entſprechende Farbe mit einem Uebergang in die complementäre ausklingen. Ferner macht dauernder oder ſtarker Lichteindruck das Auge eine gewiſſe Zeit lang für einen nachfolgenden derſelben Art unempfindlich. Ein ſo für eine beſtimmte Farbe unempfindlich gemachtes Auge empfindet demnach nur jene Einwirkung, die nach Hinweglaſſung jener Farbe übrig bleibt. Endlich empfindet das Auge von zwei gleichzeitigen, ungleich ſtarken Einwirkungen nur die ſtärkere und dieſe dauert fort, wenn auch die Quelle der mit ihr contraſtirenden bereits unterdrückt iſt. Die von den angeführten Umſtänden abhängenden Farben heißen daher mit Recht ſubjective. Goethe nennt ſie phyſiologiſche, Andere heißen ſie zufällige Farben.

Beiſpiele dieſer Erregungsarten ſubjectiver Farbenerſcheinungen liefern Folgendes: Man theile eine zum ſchnellen Rotiren um eine verticale Axe eingerichtete Pappſcheibe in mehrere, z. B. 18 concentriſche Ringe von gleicher Breite, bemale den innerſten Ring ganz ſchwarz, den nächſt folgenden bis auf 20°, den dritten bis auf 30°, die weiß bleiben, und ſo die folgenden, ſo daß der letzte Ring ganz weiß belaſſen wird. Wird nun dieſe Scheibe raſch gedreht, ſo ſieht man ſtatt der ungleichen Nüancen von Grau, die man glaubt erwarten zu dürfen, jeden Ring mit einer andern Farbe, die ſelbſt wieder wechſelt, wenn ſich die Geſchwindigkeit der Rotation ändert, zum Beweiſe der ungleichen Dauer des Eindrucks verſchieden farbiger Strahlen des Weiß. Sieht man eine rothe Schrift auf weißem, von der Sonne wohl beleuchteten Papiere lange unverwandt an und blickt dann auf eine minder beleuchtete weiße Fläche; ſo ſieht man dieſelbe Schrift in grünen

Zügen. War die Schrift orange, ſo ſieht man ſie auf dem zweiten Papier blau; war ſie gelb, ſo erſcheint ſie violett. Hier wird das Auge für die auffallend einwirkenden Strahlen unempfindlich gemacht; kommen dann weiße in dasſelbe, ſo bleibt nur der Eindruck derjenigen übrig, die das Sonnenlicht nach Wegnahme der erſteren enthält. Daß dieſes die wahre Erklärung dieſer ſubjectiven Farben ſey, beweiſet der Umſtand, daß, wenn man den früher erwähnten Verſuch mit einem Auge anſtellt und das andere verſchloſſen hält, beim wechſelſeitigen Oeffnen des einen oder des andern die ſubjective Farbe nur in dem wahrgenommen wird, das den längeren Eindruck des Lichtes erlitten hat. Bemalt man den matt geſchliffenen gläſernen Schirm einer Lampe an mehreren Stellen mit verſchiedenen Farben, und vermindert dann die Flamme bis zum Auslöſchen, ſo ſieht man im Augenblicke vor dem gänzlichen Erlöſchen von jeder Farbe die complementäre (Splittgerber in Pogg. Ann. 49. 587). Sieht man einige Zeit anhaltend auf einen farbigen und hellen Gegenſtand und ſchließt darauf das Auge; ſo bleibt dieſer Gegenſtand ſichtbar und erſcheint ſogar nach Kurzem mit complementärer Farbe. Iſt das Auge ſehr empfindlich, welches z. B. der Fall iſt, wenn man den Verſuch frühmorgens anſtellt; ſo gewahrt man ſogar eine Erſcheinung, welche das Reſultat der Verknüpfung der beiden ſo eben genannten iſt. Sieht man z. B. auf eine rothe Zeichnung im grünen Grunde, und ſchließt das Auge plötzlich, ſo erblickt man die rothe Zeichnung auf röthlich grünem Grunde, wobei das Roth ſehr dunkel iſt. (Brewſter in Pogg. Ann, 61. 138). Bringt man an dem Fenſterladen eines verfinſterten Zimmers zwei geräumige Oeffnungen an, ſtellt dann vor ſie einen undurchſichtigen Körper, der von dem durch jede Oeffnung eintretenden Lichte einen Schatten werfen kann; ſo erhält man auf einer weißen Tafel natürlich zwei Schattenbilder, die grau ſind, weil der einem Lichte entſprechende Schatten in den beleuchteten Raum des anderen fällt. Stellt man aber vor die eine Oeffnung ein rothes Glas, ſo erſcheint der ihr zugehörige Schatten von der complementären Farbe des Glaſes, in unſerem Falle grün, während der von der anderen Oeffnung herrührende Schatten die rothe Farbe annimmt. Etwas ähnliches läßt ſich mit anderen gefärbten Gläſern bewirken. Die Erklärung fließt aus dem vorhin Geſagten ganz ungezwungen; denn iſt z. B. B (Fig. 351) die mit dem rothen Glaſe bedeckte Oeffnung, A die unbedeckte, weißes Licht gebende, C der undurchſichtige Körper, welcher den Schatten wirft, r der Schattenraum, welcher durch B, und a derjenige, welcher durch A beleuchtet wird; ſo iſt klar, daß in den unbeſchatteten Raum b rothes und weißes Licht falle, und da das weiße ſelbſt wieder rothes enthält, ſo iſt das rothe das überwiegende, jedoch wird r mehr roth erſcheinen, weil es nur allein rothe Strahlen empfängt. Die rothen Strahlen, welche das in a befindliche weiße Licht enthält, können gar keine Empfindung erregen, und es bleibt nur diejenige Affection übrig, welche das weiße Licht nach Hinwegnahme des rothen Antheils bewirkt. Betrachtet man nachher den grünen Schatten durch ein alles andere Licht abhaltendes geſchwärztes Rohr, ſo erſcheint er fortdauernd grün, ohne daß der Contraſt mit dem rothen Lichte der Umgebung mitwirkt; allein daraus läßt ſich Nichts gegen obige Erklärung folgern, weil die Erſcheinung der grünen Farbe nicht Statt findet, wenn man das Rohr vor Anwendung des rothen Glaſes gegen den Schatten richtet, aber augenblicklich eintritt, wenn man das Rohr beſeitiget. Die früher iſolirte grüne Farbe dauert auch fort, wenn das rothe Glas weggenommen, ja ſogar wenn ein anderes gefärbtes Glas vor die Oeffnung geſetzt wird,

aber nach Entfernung des Rohres ſieht man im Schatten augenblicklich die dem letzten Glaſe entſprechende Ergänzungsfarbe (Fechner in Pogg. Ann. 44, 221 u. 513). Die ſchönen blauen Schatten, welche ſich während der Dämmerung in einem durch Kerzenlicht erleuchteten Zimmer zeigen und vornehmlich auf der gelblich röthlichen Färbung dieſes Lichtes beruhen, und viele andere, die man vorzüglich in Goethe's Farbenlehre angegeben findet, gehören hieher und werden auf gleiche Weiſe erklärt. Dieſelbe Bewandtniß hat es mit den complementär gefärbten Bildern ſchmaler undurchſichtiger Gegenſtände in mit Spiegelfolie belegten Tafeln aus gefärbtem Glaſe. (Scherffer über zufällige Farben. Wien 1765. Zſchokke über gefärbte Schatten. Aarau, 1826. Goethe's Farbenlehre. Plateau in Zeitſchr. n. F. 3. 190 und in Pogg. Ann. 32, 543. Oſann in Pogg. Ann. 37, 287; 42, 72. Pohlmann ebend. 37, 319. Fechner in Pogg. Ann. 50. 193, 427.)

372. Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß das Auge von Objecten, die an Größe, Entfernung, Geſtalt verſchieden ſind, dieſelben Eindrücke bekommen kann, wie von ſolchen, die in dieſen Verhältniſſen mit einander übereinſtimmen und umgekehrt. Baut der Verſtand auf dieſe Eindrücke ohne weitere Unterſuchung ein Urtheil, ſo irrt er und unterliegt einer optiſchen Täuſchung.

Es iſt nicht ſchwer, den Grund jeder einzelnen optiſchen Täuſchung aufzufinden. Zur Uebung im Erklären folgen hier einige. Täuſchungen in Bezug auf Größe und Entfernung: In einer aus parallelen Baumreihen beſtehenden Allee convergiren die entfernteren Reihen immer mehr; der Fußboden eines langen Saales ſcheint ſich an den ferneren Stellen zu erhöhen, die Decke aber ſich zu ſenken; eine Thurmſpitze neigt ſich gegen den Beobachter; durch eine kleine Oeffnung ſieht man viele und ſehr große Gegenſtände; ein Finger vor das Auge gehalten deckt ganze Gebäude, ſcheint alſo eben ſo groß als dieſe; eigens gezeichnete Bilder (optiſche Zerrbilder) ſcheinen verzerrt und in die Länge gezogen, wenn man ſie wie ein gewöhnliches Bild anſieht, hingegen recht wohl proportionirt, wenn man ſie ſchief durch ein kleines Loch betrachtet. Auf einem ebenen Papier ſcheinen uns gezeichnete Gegenſtände eine ſehr verſchiedene Entfernung zu haben (Panorama). Weiße Gebäude hält man für näher, als ſie ſind. In großen Ebenen, über Waſſer, ſchätzt man Entfernungen für zu gering Das Himmelsgewölbe (Firmament) ſcheint keine Halbkugel, ſondern bloß ein Kugelſegment zu ſeyn. Die Sonne, der Mond, die Sterne ſcheinen daran angeheftet, und erſtere Körper beim Auf- oder Untergehen weit größer, als wenn ſie einen hohen Stand haben. Ein Gleiches gilt von den Diſtanzen der Sterne oder von der ſcheinbaren Ausdehnung der Sternbilder. Täuſchungen in Bezug auf Geſtalt und Bewegung: Der Mond, die Sonne erſcheinen als Scheiben. Eine mit Kerzenlicht beleuchtete erhabene Fläche durch ein optiſches Inſtrument, das ein verkehrtes Bild gibt, angeſehen, erſcheint als Höhlung, und eine Höhlung unter denſelben Umſtänden als Erhabenheit. Eine weit entfernte Pyramide erſcheint als Kegel, ein Prisma als Cylinder. Die Sonne ſcheint auf- und unterzugehen; ſieht man von einer Brücke längere Zeit in fließendes Waſſer hinab, ſo ſcheint die Brücke ſtromaufwärts zu gehen; einem Schiffenden ſcheinen die am Ufer befindlichen Gegenſtände ſich zu bewegen. Schüttelt man den Kopf ſchnell, während man auf ein Object hinſieht. ſo ſieht man dieſes zittern. Eine glühende, ſchnell im Kreiſe bewegte

Kohle erſcheint als glühender Reif. Zeichnet man auf eine Seite einer papierenen Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel, und dreht die Scheibe ſchnell um eine in ihrer Ebene liegende Axe, ſo glaubt man den Vogel im Käfig zu ſehen (Thaumatrop, trompe d'oeil). Sieht man durch die Zwiſchenräume eines Gitters auf die Speichen eines ſchnell vorbei rollenden Wagenrades, ſo ſieht man das Rad nicht ſich drehen, ſondern ſtatt deſſen unbewegliche Curven auf der Radfläche. (Zum Behufe der Erklärung dieſer Erſcheinung muß man ſich das Gitter im Fortſchreiten und das Rad bloß im Drehen, aber nicht zugleich im Fortſchreiten begriffen denken, und ſich anfangs nur eine Gitteröffnung und eine Speiche vorſtellen. Dieſe beiden Linien ſchneiden ſich bei ihrer Bewegung in einer Reihe von Puncten, welche die gedachte Curve geben. Sind dieſe beiden Bewegungen gleichförmig, ſo wiederholt ſich dieſelbe Erſcheinung, ſo oft Speiche und Oeffnung in dieſelbe Lage zurückkehren, und macht, daß dieſe Curve unbeweglich erſcheint.) Läßt man einen geſchwärzten Kreiſel vor einem Kerzenlichte oder im Sonnenſcheine auf weißem Papier ſpielen, ſo ſieht man an der Stelle, wo ſich die Scheibe des Kreiſels und ihre Schatten decken, feſtſtehende beſonders gekrümmte Linien. Setzt man zwei parallele Scheiben mit zahnartigen Ausſchnitten in Bewegung, und ſieht ſo auf ſie hin, daß man beide zugleich erblickt; ſo bemerkt man an der Stelle der Zähne einen gleichförmig erleuchteten Streifen, ſcheinen ſich aber die Räder zu decken, ſo ſieht man die Zähne ruhig und wie in einem Nebelſchleier. Verſieht man, wie es bei den von Stampfer erfundenen ſtroboſkopiſchen Scheiben der Fall iſt, eine Pappſcheibe gegen ihren Umfang hin mit einer großen Anzahl rechteckiger Oeffnungen, und bemalt eine ihrer Flächen mit verſchiedenen Figuren, als Thier- und Menſchengeſtalten, Maſchinentheilen ꝛc., die eine zuſammenhängende Bewegung vorſtellen, und läßt dann die Scheibe vor einem Planſpiegel ſchnell kreiſen, während man durch deren Löcher in den Spiegel ſieht; ſo erblickt man darin jene Zeichnungen in der zuſammenhängenden Bewegung, welche ihre einzelnen von einander getrennten Theile vorſtellen, die bloß periodiſch (drehend oder oscillirend) oder auch progreſſiv iſt, je nachdem die in verſchiedenen Stellungen verzeichneten Figuren gegen die Löcher gleichgeſtellt ſind, oder deren Abſtände von den Löchern variiren. Auf ähnlichen Gründen beruht auch Plateau's Phantasmaſkop und Horner's Dädaleum. (Pogg. Ann. 5. 93; Zeitſchr. 10. 80; 22. 601; 32. 636 u. 650; Annal. de Ch. 53. 304.) Täuſchungen in Bezug auf Farbe: Eine Scheibe, die auf einer Seite zur Hälfte blau, zur Hälfte gelb bemalt iſt, erſcheint ganz grün, wenn man ſie ſchnell um eine auf ihrer Ebene ſenkrechte Axe dreht. Eben ſo erſcheint ſie orange, wenn man ſie halb gelb und halb roth malt. Sieht man auf einen weit entfernten Gegenſtand hin, hält ein Kerzenlicht nahe an ein Auge zur rechten oder linken Seite, und bringt dann einen Streifen weißes Papier vor dasſelbe; ſo erſcheint dieſer doppelt, und zwar wird ein Bild grün, das andere roth geſehen. Viele Täuſchungen beruhen auf einer krankhaften Körperbeſchaffenheit. So ſieht z. B. der Gelbſüchtige alles gelb. Daß es Menſchen gibt, denen die Fähigkeit mangelt, gewiſſe Farben zu unterſcheiden, wurde bereits oben (370) angeführt. Es ſoll ſogar Menſchen geben, die in Folge einer abnormen Beſchaffenheit der Augen alles verkehrt, und andere, die alles doppelt ſehen. (Zeitſchr. 2. 247; 4. 378; 6. 232)

Zwölftes Kapitel.

Optiſche Inſtrumente.

373. Jeder Apparat, welcher auf den das Sehen vermittelnden Eigenſchaften des Lichtes beruht, kann ein optiſches Inſtrument genannt werden. Indeſſen beſchränkt der Sprachgebrauch in der Regel dieſe Benennung auf jene Vorrichtungen, mittelſt welcher ein Object, das dem freien Auge entweder wegen zu großer Entfernung oder wegen zu geringer Ausdehnung unter einem für das deutliche Sehen zu kleinen Geſichtswinkel erſcheint oder welches man gewiſſer Zwecke wegen in einer andern Lage zu ſehen wünſcht, größer und daher auch deutlicher oder in der erforderlichen Lage dargeſtellt werden kann. Zur Betrachtung naher, aber kleiner Gegenſtände dienen die Mikroſkope; für ferne Gegenſtände gebraucht man Fernröhre oder Teleſkope; in einer zum Nachzeichnen bequemen Lage zeigen ſich die Gegenſtände mittelſt der Camera lucida, Camera obſcura u. dgl. Die Hauptbeſtandtheile der optiſchen Inſtrumente ſind Linſengläſer; mitunter werden aber auch Spiegel gebraucht. Ein Inſtrument, welches bloß aus Linſen gebildet iſt, heißt ein dioptriſches; kommen aber auch Spiegel dabei in Anwendung, ſo heißt es ein katoptriſches Inſtrument.

374. Die Camera lucida beſteht aus einem mit gehörigen Winkeln conſtruirten Glasprisma von der Form, wie es ABDC (Fig. 352) im ſenkrechten Durchſchnitte darſtellt. Es iſt groß genug, wenn die Höhe BD = ½ Zoll und die Länge 1 Zoll beträgt. Die beim Gebrauche wagrechte Fläche AB wird mit einer geſchwärzten Platte bedeckt, die einen ganz kleinen Ausſchnitt hat, um das Licht durchzulaſſen; das Ganze iſt mit einem Poſtamente verſehen, wie die Figur zeigt. Iſt S ein leuchtender Gegenſtand, der Licht auf BD ſendet, ſo wird davon ein Theil mittelſt totaler Reflexion nach AC und von da auf gleiche Weiſe nach O reflectirt, ſo daß er in das in O befindliche Auge kommt. Man ſieht daher S nach der Richtung OZ. Befindet ſich nun in U ein weißes Papier, ſo zeigt ſich auf demſelben eine Projection des Gegenſtandes, und da wegen der Kleinheit des Inſtrumentes auch von dem Papiere Licht ins Auge kommen kann, ſo läßt ſich ein Zeichenſtift ſo lenken, daß er den Umriſſen des Bildes folgt. Dieſes artige Inſtrument wurde von Wollaſton erfunden.

Man erhält das Prisma ABDC (Fig. 353) mit den gehörigen Winkeln, wenn man mit dem Halbmeſſer AB den Quadranten AD beſchreibt, ihn in zwei gleiche Theile theilt und die Sehnen AC und CD zieht. Das Viereck ABDC gibt dann den ſenkrechten Durchſchnitt des Prisma's. Amici hat dieſem Inſtrumente eine andere ſehr zweckmäßige Einrichtung gegeben: ab (Fig. 354) iſt ein etwa drei Linien dickes Planglas mit parallelen Wänden, cd ein metallener Planſpiegel, der gegen ab um 135° geneigt iſt. Sendet nun ein

leuchtender Punct S Strahlen auf c d, ſo werden ſie in A reflectirt, gelangen auf B, wo ſie eine zweite Reflexion erleiden und ins Auge C kommen. Eben dahin gelangen auch Strahlen vom Puncte D, wo man S ſieht, und man kann daher daſelbſt leicht das Bild von S nachzeichnen. Am einfachſten wird aber dieſer Zweck wohl durch das von Sömmering in Anwendung gebrachte kleine Stahlſpiegelchen erreicht. Auch eine dünne Glastafel genügt in manchen Fällen, z. B. zum Copiren von Zeichnungen, mittelſt welcher man im reflectirten Lichte eines gegenüberſtehenden Objectes das Bild, und durch welche hindurch man den Zeichenſtift auf dem Papiere ſieht.

375. Die Camera obſcura dient zur Darſtellung von Bildern entfernter Gegenſtände auf einer undurchſichtigen oder durchſichtigen Tafel, entweder bloß um das Vergnügen des Anblickes eines naturtreuen Bildes zu gewähren oder zum Behufe des Nachzeichnens, wie auch zu der in der neueſten Zeit erfundenen Photographie, wovon ſpäter die Rede ſeyn wird. Zu erſterem Zwecke genügt oft eine einfache Sammellinſe. Um dem Bilde eine bequeme Lage zu geben, leitet man das von den Gegenſtänden kommende Licht mittelſt eines ebenen Spiegels in die Linſe, oder man gibt den aus der Linſe tretenden Strahlen erſt mittelſt des Spiegels die ſchickliche Richtung. Damit der, der Reinheit des Bildes nachtheilige Einfluß der Abweichung wegen der Farbenzerſtreuung wie auch wegen der Geſtalt der Linſe vermindert werde, wendet man eine concavconvexe Linſe an, welcher man in einiger Entfernung eine Blendung vorſetzt, krümmt auch wohl die Tafel, worauf das Bild fällt. Da es nicht möglich iſt, durch eine einzige achromatiſche Linſe auf eine ebene Fläche ein Bild von größerer Ausdehnung hinſichtlich des Geſichtsfeldes, d. h. des Winkels, den die von den äußerſten Objecten kommenden Strahlen mit einander machen, mit genügender Schärfe darzuſtellen; ſo wendet man, wo es auf Schärfe des Bildes ankommt, nach Angabe des Prof. Petzval in Wien, eine Combination von zwei Crown-Flintglaslinſen an. (Voigtländer in den Verhandlungen des n. öſt. Gewerbvereins 5. Heft, S. 72.) Fig. 355 ſtellt die Einrichtung der Camera obſcura dar, wie ſie zuweilen auf Gebäuden, welche eine Fernſicht gewähren, vorkommt.

Chevallier erſetzt Linſe und Spiegel einer gewöhnlichen dunklen Kammer durch ein Glas, wovon Fig. 356 einen Durchſchnitt darſtellt, welches an der Fläche A B eben, an der Fläche A C convex, an B C hingegen concav iſt Fallen nun von einem fernen Gegenſtande Strahlen auf A C, ſo werden ſie wie in einer Linſe gebrochen und in A B ſo reflectirt, daß ſie durch C B austreten und in D ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes geben. (Pogg. Ann. 56. 407).

376. Die dioptriſchen Mikroſkope werden in einfache und zuſammengeſetzte eingetheilt. Streng genommen iſt jede Convexlinſe, ihre Brennweite mag wie immer beſchaffen ſeyn, ein einfaches Mikroſkop, weil ſie von einem Gegenſtande, der ſich innerhalb ihrer Brennweite befindet, die Strahlen ſo ins Auge ſendet, als kämen ſie von einem größeren Objecte her. Man bedient ſich ſolcher

Gläſer oft zum Leſen, gibt ihnen dann eine große Oeffnung, damit man mit beiden Augen, wiewohl zu ihrem Nachtheile, zugleich durchſehen könne, und eine bedeutende Brennweite, damit die Axen der Strahlenkegel, die von einem leuchtenden Puncte in beide Augen gehen, mit der Axe des Glaſes keinen zu großen Winkel machen. Man nennt aber vorzugsweiſe nur ſolche Converlinſen einfache Mikroſkope, deren Brennweite viel kleiner iſt, als die deutliche Sehweite. Beträgt ihre Brennweite einige Zolle, ſo heißt man ſie Loupen. Es ſey A B (Fig. 357) ein Gegenſtand, der in der Sehweite unter einem zu kleinen Winkel erſcheint, als daß er deutlich geſehen werden könnte. Man könnte den Sehwinkel allerdings vergrößern, wenn man A B näher ans Auge rückte, allein dadurch ginge die Deutlichkeit völlig verloren; man wird ihn aber ohne Verluſt an Deutlichkeit dem Auge viel näher bringen können, wenn man zwiſchen das Object A B und das Auge eine mikroſkopiſche Linſe ſtellt, durch deren Wirkſamkeit die von A B ausfahrenden Strahlen ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem vergrößerten Gegenſtande A′B′ her, welcher ſich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet.

377 Die Zahl, welche man erhält, wenn man die Größe des Bildes durch die des Objectes dividirt, heißt die Vergrößerung des Mikroſkops. Man denke ſich das Auge ſehr nahe an der Linſe und dieſe von der Art, daß man ihre Dicke vernachläßigen und ſich das Auge in ihrem optiſchen Mittelpuncte O vorſtellen kann, ferner ſtehe A′B′ in der Entfernung des deutlichen Sehens mit freiem Auge; ſo bezeichnet $\frac{A'B'}{AB} = m$ die Vergrößerung, welche die Linſe gewährt. Aber es iſt $A'B' : AB = OB' : OB$ oder $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB}$, mithin $m = \frac{OB'}{OB}$.

Zwiſchen O B nämlich der Entfernung des Gegenſtandes von der Linſe, O B′, der Entfernung des Bildes von derſelben und der Brennweite p der Linſe, findet die in 256 abgeleitete Gleichung (C) Statt. Da aber hier O B′ eine in Bezug auf den bei der Ableitung genannter Gleichung angenommenen Ort des Bildes entgegengeſetzte Lage hat, ſo muß man $OB' = -\alpha$ ſetzen, während $OB = a$ iſt. Dem gemäß wird $\frac{1}{OB} - \frac{1}{OB'} = \frac{1}{p}$, woraus $\frac{OB'}{OB} = \frac{OB'}{p} + 1$ folgt, mithin, wenn man unter der Vorausſetzung, daß das Auge der Linſe möglichſt nahe ſtehe, die der O B′ gleiche Sehweite durch h vorſtellt:

$$m = \frac{h}{p} + 1.$$

Es iſt alſo die Zahl der linearen Vergrößerng um die Einheitn größer, als der Quotient aus der Brennweite der Linſe in die deutliche Sehweite. Das Quadrat dieſer Zahl gibt die Vergrößerung der

Fläche nach. Bei den gewöhnlichen Angaben der Vergrößerung durch Mikroſkope iſt ſtets letztere zu verſtehen.

Hieraus ſieht man zugleich, daß dieſelbe Linſe für ein weitſichtiges Auge mehr, für ein kurzſichtiges weniger vergrößere, als für ein geſundes, und daß ein einfaches Mikroſkop deſto mehr vergrößere, je kürzer die Brennweite der Linſe iſt. Man hat ſolche Linſen, die über 40.000mal vergrößern, deren Brennweite daher weniger als $\frac{1}{2}$ L. beträgt. Indeß iſt die Stärke der Vergrößerung nicht das einzige, wovon der Werth eines ſolchen Inſtrumentes abhängt. Es gehört dazu auch, daß das Bild deutlich erſcheine. Dieſes wird der Fall ſeyn, wenn die Linſe vollkommen ſphäriſche Krümmungen hat, die Halbmeſſer derſelben ſo eingerichtet ſind, daß die ſphäriſche Abweichung nahe ein Kleinſtes iſt, und die Randſtrahlen durch die Faſſung abgehalten werden. Zur Vermeidung einer großen chromatiſchen Abweichung iſt es gut, die Linſe aus einem Stoffe zu verfertigen, der bei einem großen Brechungsvermögen ein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzt. Daher thun Linſen aus Edelſteinen, z. B. aus Diamant, Saphir ꝛc. ſo gute Dienſte. Mittelſt ſo beſchaffener Linſen kann man die feinſten Gegenſtände, wie z. B. die Parallelſtreifen auf den Schuppen der Schmetterlingsflügel, deutlich ſehen, man wird ſich aber mit einem geringen Geſichtsfelde (Raum, den man auf einmal überſieht) begnügen müſſen, und beim Gebrauche die Ungemächlichkeit nicht ſcheuen dürfen, welche aus der Nothwendigkeit entſpringt, das Auge recht nahe an die Linſe zu bringen.

Man kann ſtatt einer Linſe auch eine mit Waſſer oder Weingeiſt gefüllte Glaskugel oder gar nur einen Waſſertropfen auf einem durchlöcherten Metallplättchen als Mikroſkop brauchen. Brewſter empfiehlt dazu die Kryſtalllinſen aus Fiſchaugen. Daß bei ſtarken Vergrößerungen das Object hinreichend beleuchtet ſeyn müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Dieſes bewirkt man meiſtens mittelſt eines unter dem Objecte angebrachten Hohlſpiegels; oft wendet man aber noch überdieß eigene kleine Hohlſpiegel an, die man an die Faſſung der Linſe anſteckt, damit ſie das die Linſe verfehlende Licht auf den Gegenſtand zurückſenden. Sie heißen Lieberkühn'ſche Spiegel und ſind beſonders bei opaken Objecten von Nutzen. Jedes dieſer Inſtrumente kann auch gebraucht werden, ohne das Auge ſo nahe an das Glas zu halten, als vorhin vorausgeſetzt wurde, wenn überhaupt die Oeffnung desſelben nur etwas bedeutend iſt. Je weiter das Auge vom Glaſe entfernt iſt, deſto mehr ſcheint das Object vergrößert, aber deſto kleiner wird das Geſichtsfeld. Bei den ſogenannten Wilſon'ſchen Loupen ſteht das Auge im Brennpuncte des Sammelglaſes, welches zu dieſem Behufe in ein Röhrchen mit einer Oeffnung für das Auge gefaßt wird.

378. Zu den einfachen Mikroſkopen kann man auch diejenigen zählen, welche aus zwei Convexlinſen beſtehen, die ſich ſehr nahe neben einander befinden und eigentlich die Stelle einer einzigen mehr converen vertreten, dabei aber eine größere Lichtſtärke (Helligkeit) gewähren, als eine einzelne eben ſo vergrößernde Linſe, und eine geringere ſphäriſche Abweichung verurſachen. Es iſt begreiflich, daß man auf dieſelbe Weiſe drei Linſen zuſammenſetzen kann.

In die Reihe dieſer Inſtrumente gehört das neue Wollaſton'ſche Mikroſkop mit zwei Plan-Convexlinſen von verſchiedener Brennweite, die mit den ebenen Flächen gegen das Object gekehrt ſind, auf die

aber das Licht, welches das (durchſichtige) Object beleuchtet und mittelſt eines kleinen Planſpiegels die gehörige Richtung erlangt, vorerſt durch eine Convexlinſe gelangt (Fig. 358). Die Wirkung eines ſolchen Mikroſkops iſt ſehr zufriedenſtellend. (Pogg. Ann. 16. 176. Zeitſchr. 8. 484.)

379. Die gewöhnlichen zuſammengeſetzten Mikroſkope haben folgende Einrichtung: A (Fig. 359) iſt eine Sammellinſe, B C ein Gegenſtand, der etwas außer ihrer Brennweite ſteht und daher hinter A ein verkehrtes und vergrößertes Bild b c gibt; D iſt eine mikroſkopiſche Linſe, die gegen b c ſo ſteht, wie im einfachen Mikroſkope die Linſe gegen ihren Gegenſtand. Zu einem beſonderen Zwecke wird in E (Fig. 360) eine dritte Convexlinſe angebracht. A heißt Objectivlinſe, E Collectivlinſe, D Ocularlinſe. Die Collectivlinſe fängt die aus dem Objectiv tretenden Strahlen auf, ehe ſie ſich zum Bilde b c vereinigt haben, und es entſteht dadurch ein von der Objectivlinſe weniger entferntes und kleineres Bild b′ c′, das durch die Ocularlinſe betrachtet wird. Um den Ort des durch die Collectivlinſe modificirten Bildes eines Punctes des Gegenſtandes, z. B. B zu finden, hat man von dem Mittelpuncte der Linſe E zu dem correſpondirenden Puncte b im Bilde, welches die Objectivlinſe für ſich allein erzeugt hätte, eine gerade Linie, den Hauptſtrahl für die Linſe E, zu ziehen, und in ihr E b′ der aus der Gegenſtandsweite E b folgenden Bildweite gemäß aufzutragen. Bei dieſer Zuſammenſetzung der Linſen erhält man im Geſichtsfelde des Ocularglaſes ein verkehrtes und vergrößertes Bild des Gegenſtandes. Stehen überdieß die Krümmungen, Brennweiten, Oeffnungen der Linſen und ihre gegenſeitigen Stellungen im gehörigen Verhältniſſe; ſo iſt dieſes Bild auch deutlich und hell, und man genießt ein gehörig großes Geſichtsfeld. Dieſes hängt von dem Winkel ab, den die äußerſten der durch die Mitte des Objectives gehenden Strahlen mit einander machen, welche noch ins Auge gelangen können. Der vortheilhafteſte Platz für das Auge iſt der Ort, wo dieſe Strahlen nach dem Austritte aus dem Ocular die Axe des Inſtrumentes durchſchneiden. Man wird aber nur bei einer ſehr guten Einrichtung des Ganzen die Deutlichkeit erlangen, welche ein einfaches Mikroſkop gewährt, weil die Undeutlichkeit des vom Objective gemachten Bildes durch das Ocular noch geſteigert wird. Um zu ſehen, wovon jeder dieſer Vorzüge für ſich abhängt, muß man die einzelnen Theile eines Mikroſkops, vorzüglich die Objectivlinſe und die Ocularlinſen, für ſich betrachten.

380. Eine gewöhnliche, einfache Objectivlinſe wird ſelbſt bei der vollkommenſten ſphäriſchen Geſtalt und der zweckmäßigſten Anordnung ihrer Krümmungen immer ein mit der chromatiſchen Abweichung behaftetes Bild geben; darum muß man ſie durch eine Flintglaslinſe achromatiſiren. Die Flintglaslinſe wird dem Objecte zugewendet. Es iſt allerdings theoretiſch möglich, die vier Krümmungen einer ſolchen Doppellinſe ſo einzurichten, daß mit der chromati-

ſchen Abweichung auch die ſphäriſche größtentheils aufgehoben, mithin die Linſe aplanatiſch wird; aber in der Ausführung hat dieſes, bei der geringen Größe der Krümmungs-Halbmeſſer, große Schwierigkeiten. Darum bleibt gewöhnlich bei den achromatiſchen Doppellinſen, beſonders wenn ſie ſehr kurze Brennweiten haben, von jeder der zwei Abweichungen ein Theil übrig. Um dieſen zu heben, braucht man oft drei Linſen, allein dieſe machen das Bild nur von der chromatiſchen Abweichung freier, vergrößern aber nicht ſelten die ſphäriſche. Letztere hebt man am beſten, wenn man zwei oder gar drei möglichſt gut achromatiſirte Doppellinſen unmittelbar über einander ſchraubt. Solche Objective geben aber nicht bloß ein deutlicheres, ſondern auch ein helleres Bild, als die gewöhnlichen, weil man den einzelnen Linſen eine größere Oeffnung geben kann, ohne eine Undeutlichkeit befürchten zu dürfen, und dadurch von jedem Puncte des Objectes einen größeren Lichtkegel ins Auge bringt, als bei einer gewöhnlichen Linſe. Indeß haben ſolche Linſen doch den Nachtheil, daß man das Object ſehr nahe an die äußerſte derſelben ſtellen muß.

Das Bild, welches eine Objectivlinſe macht, wird deſto größer ſeyn, je kürzer die Brennweite der Linſe iſt und je näher man das Object an den Brennpunct derſelben rückt (oder falls das Objectiv aus mehreren Linſen beſteht, je näher das von der vorletzten gemachte Bild am Focus der letzten Linſe liegt). Mit der Zunahme der Vergrößerung muß aber die Oeffnung der Linſe und mithin auch die Lichtſtärke des Bildes abnehmen, und, wenn das Bild nicht vollkommen deutlich iſt, auch die Undeutlichkeit wachſen.

381. Das Ocular dient nur als einfaches Mikroſkop, durch welches das vom Objective gemachte Bild vergrößert wird; deßhalb muß es nach denſelben Regeln conſtruirt ſeyn, nach welchen ein ſolches Mikroſkop eingerichtet wird. Doch wird man ein Ocular keineswegs mit ſo kurzer Brennweite verſehen dürfen, wie man es bei einem einfachen Mikroſkope thut, weil das auf einmal zu überſehende Stück des Bildes und daher noch mehr das des Objectes zu klein ausfiele, in den meiſten Fällen auch die Lichtſtärke zu gering wäre und die Deutlichkeit des Bildes völlig verloren ginge. Denn das vom Objective gemachte Bild iſt nie ganz frei von Abweichungen, mithin nicht vollkommen deutlich, und mit der Vergrößerung des Bildes wird natürlich auch jede Undeutlichkeit vergrößert. Darum verträgt ein Mikroſkop ein deſto ſchärferes Ocular, je vollkommener ſein Objectiv iſt; darum kann man bei aplanatiſchen Objectiven dem Oculare einen größeren Theil der Vergrößerung überlaſſen, als bei den gewöhnlichen. Man muß aber ſelbſt bei der beſten Einrichtung des Objectives die chromatiſche und ſphäriſche Abweichung des Oculars zu heben oder auf ein Kleinſtes zu bringen ſuchen. Zu erſterem Zwecke wird das Collectivglas angebracht, deſſen Function man aus Folgendem erſehen wird: Es ſey A a (Fig. 361) ein von dem Objective kommender, auf die Collectivlinſe fallender Lichtſtrahl. Durch dieſe wird er gebrochen und

zugleich zerſtreut, ſo daß der violette Theil die Richtung ac, der rothe die Richtung ab erhält, und daher einer die Axe des Inſtrumentes früher ſchneidet als der andere. Allein wenn dieſe, bevor ſie ins Auge kommen, noch durch die Linſe O gehen müſſen, ſo wird der violette Strahl, der ſie an einer ihrer Axe näheren Stelle trifft, weniger abgelenkt, als der rothe, und bei gehöriger Anordnung der zwei Linſen werden dieſe Strahlen mit einander parallel, wie bx und cy. Die ſphäriſche Abweichung des Oculars macht man dadurch unſchädlich, daß man Linſen von der beſten Form oder Planconvexlinſen mit der Krümmung gegen das Object gekehrt, anwendet, und etwa ihre halbe Oeffnung mittelſt der Faſſung deckt. Uebrigens iſt es klar, daß man für dasſelbe Objectiv mehrere Oculare und für dasſelbe Ocular mehrere Objective brauchen kann, die ſtufenweiſe mehr vergrößern. Plößl, deſſen Mikroſkope mit Recht einen ausgezeichneten Ruf genießen, braucht oft mit Vortheil als Ocular zwei achromatiſirte Linſen.

382. Das Objectiv und die Oculare müſſen in eine Röhre eingeſchloſſen ſeyn, die inwendig zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt iſt, und ihre Axen müſſen in eine gerade Linie fallen. Da, wo das vom Objective gemachte Bild ſeinen Platz hat, wird überdieß noch ein kreisförmiger Ring (Diaphragma) angebracht, der alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerſtreute Licht abhält, ja ſogar oft einen Theil des Bildes ſelbſt hindert, die Strahlen auf das Ocular zu ſenden. Das Object wird auf einer beſonderen Unterlage an einem eigens dazu beſtimmten Tiſche angebracht, der ſich dem Objective nähern und davon entfernen läßt, wenn nicht vielleicht das Objectiv ſelbſt gegen denſelben beweglich iſt, um ſo das von letzterem gemachte Bild ſtets in das Diaphragma bringen zu können. Um eine hinreichende Helligkeit zu erzielen, wird das Object eigens mittelſt Tages-, bequemer mittelſt Lampenlicht beleuchtet Für durchſichtige Gegenſtände dient ein Concavſpiegel, der unter dem Tiſche nach allen Seiten beweglich angebracht iſt, deſſen Randſtrahlen, wo die Beleuchtung (zum Vortheile der Schärfe der Bilder) gemäßigt werden darf, durch ringförmige Schirme von zweckmäßiger Größe abgehalten werden können; für opake Objecte hat man gewöhnliche Sammellinſen oder noch beſſer eine prismatiſche Linſe, wie ſie Fig. 362, A darſtellt. In dieſe dringt das Licht durch die gekrümmte Fläche ab ein, erleidet an der ebenen, mit der Faſſung belegten Fläche ac eine Reflexion gegen die zweite gekrümmte Fläche bc und gelangt ſo concentrirt auf das Object de. Fig. 363 ſtellt ein zuſammengeſetztes Mikroſkop vor.

383. Bei der Beurtheilung eines Mikroſkopes hat man hauptſächlich auf die Reinheit und Größe des Geſichtsfeldes, auf die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und auf die Stärke der Vergrößerung zu ſehen.

384. Das Geſichtsfeld ſoll nicht bloß in der Mitte, ſondern bis auf den äußerſten Rand rein und farblos ſeyn und eine hin-

reichende Größe haben. Letztere beſtimmt man am beſten mittelſt eines hinreichend fein getheilten Mikrometers, indem man ihn als Object braucht und die Anzahl der auf einmal überſehenen Theilungsfelder zählt.

385. Die Deutlichkeit und Klarheit der Bilder ſchätzt man mittelſt zweckmäßig gewählter Probeobjecte. Als ſolche ſind vorzüglich die oberſten Schuppen der Schmetterlingsflügel brauchbar, wie z. B. die vom **Papilio Crataegi** und **Brassicae** oder vom **Papilio Menelaus** oder von der Kleidermotte. Dieſe Schuppen ſind auf ihrer Oberfläche der Länge nach mit feinen, parallelen Streifen verſehen. Je deutlicher dieſe Linien erſcheinen und bei je geringerer Vergrößerung man ſie ſieht, deſto größer iſt die Deutlichkeit des Bildes.

Die Längenſtreifen des **Papilio Crataegi**, **Brassicae** und **Manelaus** ſollen bei 60—80maliger linearer Vergrößerung erſcheinen, bei 100 bis 200maliger ſoll man auch die Zwiſchenräume ſehen und den Stiel als coniſche Röhre erkennen. Die Streifen auf den Schuppen der Motte zeigen nur die beſten Inſtrumente bei einer 300—400maligen Vergrößerung. Ganz vorzügliche Inſtrumente machen da auch Querlinien bemerkbar. Es iſt überhaupt gut, irgend ein Object, deſſen vergrößertes Bild man durch öfteres Anſchauen im Gedächtniſſe hat, zur Prüfung eines Mikroſkopes zu wählen.

386. Die Stärke der Vergrößerung eines Mikroſkopes kann man entweder aus den bekannten Brennweiten der Linſen und ihrer Entfernung von einander und vom Objecte durch Rechnung finden oder durch Verſuche ausmitteln. Im erſteren Falle ſucht man die durch das Objectiv (261) und dann die durch das Ocular (377) bewirkte Vergrößerung. Das Product beider gibt die Vergrößerung des Mikroſkopes. Bei der practiſchen Beſtimmung der Vergrößerungszahl kann man auf zweifache Weiſe verfahren, indem man entweder die ganze Vergrößerung auf einmal ſuchen oder jeden der zwei Theile, aus denen ſie beſteht, beſonders beſtimmen kann. Die durch das Objectiv bewirkte Vergrößerung läßt ſich auf practiſchem Wege ſo finden: Man betrachte ein Mikrometer als Object und zähle, wie viele Felder ſeines Gitters man auf einmal überſieht. So vielmal nun der Durchmeſſer des überſehenen Stückes in dem Durchmeſſer des Diaphragma's enthalten iſt, ſo vielmal vergrößert das Objectiv linear. Oder man nehme zwei ganz gleiche Mikrometer, lege einen als Object auf den Tiſch des Inſtrumentes, den anderen in das Diaphragma unter dem Oculare. Da der eine nur durch das Ocular, der andere durch das Objectiv und Ocular zugleich vergrößert wird, ſo braucht man nur zu beobachten, wie viele Theile des einen in einen Theil des anderen fallen, um zu erfahren, wie vielmal das Objectiv vergrößere. Die vom Oculare herrührende Vergrößerung kann man nur durch Rechnung bekommen. Durch Multiplication der vom Objective hervorgehenden Vergrößerung mit der vom Oculare erzeugten erhält man wieder die ganze Vergrößerung des Inſtrumentes. Zur Beſtimmung der ganzen vergrößernden Wirkung des Mikroſkopes iſt vorzüglich das

vom Freiherrn von Jacquin angegebene Verfahren zu empfehlen. Man befeſtiget nämlich über dem Ocular einen kleinen Planſpiegel ſo, daß er gegen die Axe des Inſtrumentes um 45° geneigt iſt, und legt ein Mikrometer als Object ein. Da ſieht man nun in dem Spiegel das Bild des Objectes in horizontaler Richtung an einer gegenüber ſtehenden Wand, wenn das Mikroſkop vertical ſteht. Iſt dieſe Wand in der deutlichen Sehweite und mit einer in Linien getheilten Scale verſehen, ſo kann man leicht abnehmen, wie groß ein Theil des Mikrometers erſcheint, und durch Diviſion der ſcheinbaren Größe durch die wirkliche die lineare Vergrößerungszahl finden. (Jacquin in Zeitſchr. 4. 1.)

Man kann mittelſt eines Mikrometers auch den Durchmeſſer kleiner Gegenſtände, die man durch das Mikroſkop ganz ſieht, beſtimmen. Zu dieſem Behufe legt man ein Mikrometer auf die Blendung unter dem Ocularglaſe, wobei dieſe Blendung ſo ſtehen muß, daß das Mikrometer durch das Ocularglas betrachtet, vollkommen deutlich erſcheint. Bringt man nun vorläufig vor das Objectiv ein Mikrometer, und kennt man den abſoluten Werth des Abſtandes zweier benachbarten Theilſtriche auf demſelben genau; ſo erfährt man durch Vergleichung beider Mikrometer, ein für alle Mal, wie groß ein vor dem Objectiv ſtehender Gegenſtand iſt, deſſen Bild mit dem Mikroſkop deutlich geſehen, auf dem Oeular-Mikrometer eine gewiſſe Anzahl Theilſtriche einnimmt, ſo daß man durch bloße Anwendung des Ocular-Mikrometers mit Leichtigkeit die Dimenſionen jedes beliebigen Objectes (ſogar eines in Bewegung befindlichen Gegenſtandes), mit einer von der Beſchaffenheit der angewendeten Mikrometer abhängenden Genauigkeit meſſen kann. Ganz Vorzügliches leiſten die von Fraunhofer und auch an Plößl's Inſtrumenten angebrachten Schraubenmikrometer, wodurch man jede kleine Verſchiebung des Objecttiſches des Mikroſkopes, und wenn man ſo die beiden Enden des Bildes der zu meſſenden Dimenſion eines Gegenſtandes mit einem feinen, über die Blendung des Oculars geſpannten Faden nach einander in Contact bringt, den Durchmeſſer eines Gegenſtandes bis $1/_{100000}$ eines Zolles finden kann. (Brander's Beſchreibung zweier zuſammengeſetzter Mikroſkope. Augsburg, 1796. Essay on the microscope by Adams. London 1787. Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 252 u. ſ. f. Sehr lehrreich iſt ein Aufſatz über Mikroſkope von Freih. von Jacquin in Zeitſchr. 5. 129. Anleitung zum Gebrauche des Mikroſkops von Dr. Moſer. Berlin, 1839.

387. Unter den katoptriſchen Mikroſkopen iſt das von Amici erfundene bei weitem das vorzüglichſte. Es beſteht im Weſentlichen aus zwei Metallſpiegeln a und b (Fig. 364), die ſich in einem horizontalen Rohre befinden, und aus einem Ocularglaſe. Der größere Spiegel iſt hohl, elliptiſch gekrümmt, hat einen gleichen Durchmeſſer mit dem Rohre, befindet ſich am Ende deſſelben und iſt ſo geſtellt, daß ſeine Axe mit der des Rohres zuſammenfällt. Der andere Spiegel iſt eben, ſehr klein, unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigt, ſo geſtellt, daß ſeine Mitte in dieſer Axe liegt, mit der ſpiegelnden Oberfläche nach unten gekehrt und einer Oeffnung im Rohre zugewendet, unter welcher ſich der Objectträger c befindet. Zur Beleuchtung des Gegenſtandes dient ein Hohlſpiegel d. Das wohlbeleuch-

tete Object ſendet die Strahlen durch die Oeffnung auf den Planſpiegel, der ſie auf den elliptiſchen Hohlſpiegel zurückwirft, und dieſer macht am entgegengeſetzten Ende des Rohres ein Bild, das man mit einem Ocularglaſe anſehen kann. Dieſes Inſtrument gewährt eine bedeutende Vergrößerung, ſtellt wegen Mangel der Farbenzerſtreuung die Gegenſtände ſcharf und in ihren wahren Farben dar, man kann damit Gegenſtände von bedeutender Größe, ſelbſt ſolche, die im Waſſer ſchwimmen, beobachten, weil ſie wenigſtens $^1/_2$ Zoll vom Körper des Inſtrumentes entfernt bleiben, beim Beobachten länger aushalten, indem das Inſtrument horizontal ſteht, und die Vergrößerung ſchnell wechſeln, ohne die Entfernung des Objectes vom Inſtrumente zu ändern; doch muß man alle die Vortheile durch Aufopferung der Lichtſtärke erkaufen, beſonders wenn man ſtarke Vergrößerungen anbringen will. (Memoria di Microscopi catadioptrici. Mod. 1818. Zeitſchrift 1. 201. Barfuß, Theorie der Spiegel-Mikroſkope. Weimar 1840.)

388. Zu den Mikroſkopen kann man auch das Sonnen-, das Gas- (Hydro-Oxygen-) und das Lampenmikroſkop zählen. Der Zweck dieſer Inſtrumente iſt die Bilder kleiner Gegenſtände ſtark vergrößert auf eine weiße Tafel oder auf einen transparenten Schirm zu projiciren, und auf dieſe Weiſe mehreren Perſonen zugleich ſichtbar zu machen. Sie kommen darin überein, daß bei jedem derſelben der Gegenſtand in umgekehrter Lage vor eine oder beſſer vor mehrere achromatiſch und aplanatiſch verbundene Linſen geſtellt wird, etwas weiter als der Vereinigungspunct paralleler Strahlen von denſelben entfernt. Je mehr der Gegenſtand letzterem Puncte genähert wird, deſto größer fällt die Bildweite, mithin um ſo größer das Bild ſelbſt aus. Aber die Lichtſtärke des Bildes wird dabei im Verhältniſſe des Quadrates jeder linearen Dimenſion deſſelben verringert; ſoll daher dieſes Bild auf dem Schirme oder der Tafel, worauf man es auffangt, mit befriedigender Helligkeit erſcheinen, ſo muß man für hinreichende Beleuchtung des Gegenſtandes Sorge tragen. Durch die Art, auf welche dieſe erzielt wird, unterſcheiden ſich oben genannte drei Inſtrumente. Bei dem Sonnenmikroſkope, (Fig. 365) dient das Sonnenlicht zur Beleuchtung. Die auf einen beweglichen, gehörig geſtellten ebenen Spiegel A fallenden Sonnenſtrahlen werden nach ihrer Reflexion von einer großen Sammellinſe B aufgenommen und durch dieſe in ihrer Brennweite zu einem Sonnenbilde vereinigt. An den Ort deſſelben bringt man den Gegenſtand, wenn er durchſichtig iſt. Die durch ihn gehenden Strahlen fallen auf die mikroſkopiſchen Linſen C, deren Axe mit jener des Beleuchtungsglaſes übereinſtimmt. Gewöhnlich wendet man aber ſtatt Einer Beleuchtungslinſe, deren zwei an, (Fig. 366) indem die von der größeren Linſe B convergent gemachten Sonnenſtrahlen durch eine zweite kleinere Linſe D noch mehr convergent werden, wodurch zugleich die Größe des beleuchtenden Raumes MN geſteigert wird. Undurchſichtige Gegenſtände müſſen auf der den mikroſkopiſchen Linſen zugekehrten Seite beleuchtet werden, zu welchem

Behufe man die durch die Beleuchtungslinſen vereinigten Strahlen mittelſt eines Spiegels dem, ſammt den mikroſkopiſchen Linſen etwas höher geſtellten Gegenſtande zuſendet. Bei dem Gasmikroſkope wird, wie Carry zuerſt gethan hat, das ſehr intenſive Licht, welches ein Stück friſch gebrannten Kalkes in der Knallgasflamme verbreitet, zur Beleuchtung des Objectes benützt. Da hier nicht wie bei dem Sonnenlichte parallele, ſondern divergirende Strahlen auf die Beleuchtungslinſe fallen, ſo iſt bei der Anordnung des Beleuchtungsapparates darauf Rückſicht zu nehmen. Bei dem Lampenmikroſkope behilft man ſich zur Beleuchtung des Gegenſtandes mit einer guten Oehllampe, muß ſich aber auch mit einer geringeren Ausdehnung des Bildes begnügen, zu welchem Zwecke man die dasſelbe hervorbringenden Strahlen durch eine oder mehrere größere Linſen G, H (Fig. 367) auf einen engern Raum zuſammendrängt und das Bild mit einem transparenten Schirme auffängt. Fig. 367 zeigt die Anordnung der Beleuchtung eines undurchſichtigen Gegenſtandes. C iſt eine ſehr convexe Linſe, welche von einer ſtarken Lampe A Licht bekommt, und es in parallelen Strahlen auf den Hohlſpiegel B ſendet, der ſo geneigt iſt, daß er es auf das Object E ſchickt, von welchem es zu den mikroſkopiſchen Linſen F gelangt. Das Megaſkop unterſcheidet ſich von den hier beſchriebenen Mikroſkopen bloß dadurch, daß es zur Darſtellung von Bildern größerer Gegenſtände beſtimmt iſt, daher ſtatt der mikroſkopiſchen Linſen eine Linſe von größerer Brennweite enthält, die keine ſo ſtarke Vergrößerung gewährt, vor welcher der gut beleuchtete Gegenſtand in verkehrter Lage ſteht.

Mehr zur Spielerei als zum wahren Nutzen dient die Zauberlaterne (Fig. 368). Sie beſteht aus zwei Sammelgläſern A und B. Vor dem erſten, aber innerhalb ſeiner Brennweite, ſteht ein transparentes auf Glas gemaltes Bild C, welches von einer ſtarken Flamme a, mittelſt eines Beleuchtungsſpiegels D erhellet wird. Das zweite Glas ſteht ſo, daß es ein großes Bild EF des Gegenſtandes macht, welches man auf einer Wand auffangen kann. Iſt dieſe Wand durchſcheinend, ſo kann man hinter ihr die Bilder der Gegenſtände vergrößert ſehen und auf dieſe Weiſe ſehr impoſante, phantasmagoriſche Phänomene hervorbringen.

389. Fernröhre (Teleſkope) braucht man, um entfernte Gegenſtände vergrößert zu ſehen. Sie werden, wie die Mikroſkope in dioptriſche und katoptriſche eingetheilt, d. i. in ſolche, die bloß aus Linſen, und in ſolche, welche aus Linſen und Spiegeln beſtehen. Da der Zweck der Fernröhre derſelbe iſt, wie jener der Mikroſkope, ſo muß in ihrer Conſtruction viel Uebereinſtimmung herrſchen; allein da Mikroſkope zur Beſichtigung naher Gegenſtände gebraucht werden, die man nach Bedürfniß beleuchten kann, Objecte aber, welche der Gegenſtand der Betrachtung durch Fernröhre ſind, eine größere Entfernung von uns haben und in ihrer natürlichen Beleuchtung angeſehen werden müſſen; ſo wird im Baue der Fernröhre auch manches Eigenthümliche vorkommen. An jedem Fernrohre, es ſey ein dioptriſches oder katoptriſches, muß man zwei Theile unterſcheiden, nämlich

das Objectiv und das Ocular. Bei den dioptriſchen iſt das Objectiv eine Convexlinſe, bei den katoptriſchen ein Hohlſpiegel. Große dioptriſche pflegt man Refractoren, große katoptriſche Reflectoren zu nennen. Ein dioptriſches Inſtrument von mittlerer Größe heißt ein Tubus. Ein gewöhnliches mit Schubröhren verſehenes Fernrohr wird Perſpectiv genannt; ein Fernrohr mit verhältnißmäßig großem Objectivglas heißt Nachtfernrohr, weil es beſonders viel Lichtſtärke hat und auch noch bei Nacht die irdiſchen Gegenſtände wahrnehmen läßt; ein ſolches zu aſtronomiſchem Gebrauche eingerichtetes, mit beſonders großem Sehfelde, heißt Kometenſucher.

Fernröhre ſtellen die Objecte, auf die ſie gerichtet ſind, dem Auge größer dar, als dieſes ohne ſolches Hilfsmittel der Fall iſt; aber die Vergrößerung läßt ſich hier nicht wie bei Mikroſkopen durch Vergleichung des Bildes mit dem Objecte finden, ſondern durch Vergleichung des Sehwinkels, unter welchem das Object dem freiem Auge erſcheint, mit demjenigen, unter dem es durch das Fernrohr geſehen wird, und die Vergrößerungszahl iſt der Quotient, welchen man erhält, wenn man den letzteren Winkel durch den erſteren dividirt. Daß hier nicht von einer Flächen- oder Körpervergrößerung die Rede ſeyn könne, iſt für ſich klar.

390. Das Objectiv iſt der wichtigſte Theil eines Fernrohres, aber auch derjenige, welcher am ſchwerſten in gehöriger Vollkommenheit zu verfertigen iſt. Es ſoll einen bedeutenden Durchmeſſer haben, um von jedem Puncte des Objectes einen großen Lichtkegel aufnehmen und ein helles Bild geben zu können. Große und zugleich homogene Glasſtücke, wie ſie zu größern Objectiven erfordert werden, ſind aber, beſonders bei Flintglas, das gar leicht wellig erſcheint, ſchwer zu erhalten, und es gehört große Geſchicklichkeit dazu, großen Linſen genau die Krümmung einer Kugel zu geben. Da das Bild auch deutlich ſeyn ſoll, ſo muß man die Linſe ſowohl von der chromatiſchen, als auch von der ſphäriſchen Abweichung möglichſt frei machen und darum ſie durch eine Hohllinſe von Flintglas achromatiſiren und den einzelnen Flächen dieſer Doppellinſe die Krümmungen geben, welche nöthig ſind, um die ſphäriſche Abweichung auf ein Kleinſtes zu bringen. Dieſes wird bei großen Objectiven ohne Vergleich ſchwieriger ſeyn, als bei kleineren, weil man bei jenen manches in Rechnung bringen muß, das man bei dieſen vernachläßigen kann, wie z. B. die Dicke der Gläſer, die Entfernung der zwei Beſtandtheile der Doppellinſe ꝛc. Man kann nicht darauf rechnen, die ſphäriſche Abweichung durch Uebereinanderlegen zweier oder dreier achromatiſchen Linſen heben zu können, weil durch ihre Anwendung dem Bilde zu viel Licht entgeht. Darum hat auch Fraunhofer immer nur Doppelobjective gewählt, doch ſcheinen dreifache in mancher Beziehung beſondere Vorzüge zu haben. Bei jenen iſt das Crownglas auswärts gekehrt und doppelt, aber ungleich convex, das Flintglas aber nach innen und iſt convex-concav. Objective mit von einander ſtark abſtehenden

Beſtandlinſen (dialytiſche Linſen) gewähren viele Vorzüge, weil man mit einem Flintglaſe ausreicht, das nur halb ſo viel Oeffnung hat, als das Crownglas, weil die Länge des Inſtrumentes geringer ausfällt und doch noch eine größere Bildſchärfe erzielt wird. Wenn man ein einfaches Objectiv brauchen will, ſo muß man alle Randſtrahlen durch eine Blendung abhalten und doch auf eine ſtarke Färbung des Bildes gefaßt ſeyn.

391. Nach Verſchiedenheit des **Oculars**, das man mit einem Objective verbindet, dient das hieraus hervorgehende Fernrohr zu verſchiedenen Zwecken und erhält auch verſchiedene Namen. Nimmt man als Ocular eine Hohllinſe und gibt ihr eine ſolche Stellung gegen das Objectiv, daß die von einem hinreichend entfernten Gegenſtande auffallenden und durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch das Concavglas ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem Gegenſtande, der ſich in der deutlichen Sehweite befindet; ſo heißt das Inſtrument ein **holländiſches** oder **galileiſches**. Iſt das Ocular eine Sammellinſe, durch welche man das vom Objectiv gemachte Bild wie mit einem einfachen Mikroſkope anſieht, ſo heißt das Fernrohr ein **aſtronomiſches**. Iſt der Ocularapparat eines ſolchen Fernrohres ſo eingerichtet, daß man dadurch den Gegenſtand aufrecht ſieht, ſo nennt man das Inſtrument ein **Erdfernrohr**.

Es ſey A (Fig. 369) das Objectivglas eines **Galilei'ſchen** Fernrohres, das von einem entfernten Gegenſtande Strahlen bekommt; ſo würde dieſes ein Bild a c b geben, wenn kein Ocularglas da wäre. Durch das Ocular B werden aber, vorausgeſetzt, daß die Entfernung deſſelben von a b etwas größer iſt, als ſeine imaginäre Brennweite, die Strahlen ſo gebrochen, als kämen ſie vom Bilde a′ c′ b′. Man wird daher den Gegenſtand in natürlicher Lage, und wenn ſich das Bild in der Sehweite des Auges befindet, auch deutlich ſehen.

Um die Vergrößerung dieſes Inſtrumentes zu finden, denke man ſich das Auge an dem Platze des Objectivglaſes. Da iſt der halbe Sehwinkel ohne Inſtrument b O c, und der mit dem Inſtrumente kann ohne Fehler für b O′ c angenommen werden. Es iſt daher $\frac{bO'c}{bOc} = m$ die Vergrößerung. Nun iſt aber

$$\textit{tang}\ bOc = \frac{bc}{Oc},\ \textit{tang}\ bO'c = \frac{bc}{O'c},\ \frac{\textit{tang}\ bO'c}{\textit{tang}\ bOc} = \frac{Oc}{O'c},$$

mithin weil b O′ c und b O c nur kleine Winkel ſind

$$\frac{bO'c}{bOc} = \frac{Oc}{O'c} = m.$$

Wegen der ſehr großen Entfernung des Gegenſtandes vom Objectivglaſe kann O c der Brennweite p dieſer Linſe gleich geſetzt werden. Nennt man nun die Brennweite des Ocularglaſes p′, und ſetzt man, weil O c größer iſt als dieſe, O′ c = p′ + δ, ſo hat man

$$m = \frac{p}{p' + \delta}.$$

Um die Größe von δ zu beurtheilen, bedenke man, daß die Axen der aus dem Oculare tretenden Strahlenkegel divergiren, mithin das Auge, um an möglichſt vielen dieſer Strahlenbündel Antheil zu nehmen, dicht hinter dem Oculare ſtehen muß. Es wird alſo $O'c'$ der Sehweite gleich geſetzt werden müſſen, die wir mit h bezeichnen wollen. Schreiben wir nun, um die Formel (C) in 256 auf den vorliegenden Fall anzuwenden $-O'c$ ſtatt a, $-h$ ſtatt α, $-p'$ ſtatt p, ſo ergibt ſich die Gleichung

$$\frac{1}{O'c} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{h} = \frac{h - p'}{h p'},\ \text{d. h. } p' + \delta = \frac{h p'}{h - p'},$$

$$\text{alſo } \delta = \frac{p'^2}{h - p'}.$$

Iſt nun, was in der Regel Statt findet, die Brennweite des Ocularglaſes gegen die Sehweite ſehr klein, ſo kann δ als eine zu vernächläßigende Größe betrachtet werden, und es wird $m = \frac{p}{p'}$.

Die Vergrößerungszahl iſt daher unter den genannten Vorausſetzungen gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes.

Streng genommen gilt dieſe Regel, wie aus dem Geſagten erhellet, nur für ein unendlich weitſichtiges Auge. Kleinere Werthe von h geben größere Werthe für δ; es müſſen daher Kurzſichtige das Ocular dem Objective mehr nähern, als Weitſichtige. Wegen der Divergenz der Axen der aus dem Oculare kommenden Strahlenbündel hat ein ſolches Fernrohr immer nur ein ſehr kleines Geſichtsfeld. Deßhalb kann man es nur dann zu ſtärkerer (10 — 30maligen) Vergrößerung brauchen, wenn alles in hohem Grade vollkommen conſtruirt worden, wie dieſes bei Plößl's ſogenannten Feldſtechern der Fall iſt, die im Verhältniß ihrer Größe Unglaubliches leiſten (Zeitſchr. 8. 189). Es bleibt zwar ſelbſt bei der Anwendung eines achromatiſchen Objectives die durch das Ocularglas bewirkte Farbenzerſtreuung übrig; allein dieſe bringt keine gar große Wirkung hervor, weil das Auge ſehr nahe am Ocularglaſe ſteht, wo die Strahlen nicht ſehr divergiren. Man hält es deßhalb nicht immer für nothwendig, durch Einführung eines Collectivglaſes dieſer Zerſtreuung ſo zu ſteuern, wie es beim Mikroſkope geſchah, um ſo mehr, da die minder (2 — 4mal) vergrößernden Inſtrumente dieſer Art meiſtens nur als Theaterperſpective, mithin Nachts gebraucht werden, wo das Licht minder lebhaft iſt. Man kann ein Inſtrument mit mehreren Ocularen von verſchiedener Stärke verſehen und ſie an eine Drehſcheibe befeſtigen, damit man ſie ſchnell wechſeln und ſo hinter einander mehrere (3 oder 4) verſchiedene Vergrößerungen anbringen könne, wie dieſes ebenfalls an Plößl's Feldſtechern der Fall iſt.

392. Das aſtronomiſche Fernrohr hat, wie vorher geſagt wurde, ein convexes Ocular und das Ocular B (Fig. 370) iſt gegen das Objectiv A ſo geſtellt, daß das von einem entfernten Gegenſtande auf A fallende Licht zu einem verkehrten Bilde ab vereinigt wird und von da aus ſo ins Ocularglas gelangt, daß für ein dahinter befindliches Auge ein Bild a'b' in der deutlichen Sehweite erſcheint. Daher ſieht die-

ſes Auge den Gegenſtand deutlich aber verkehrt und bei gehöriger Wahl des Oculars auch vergrößert. Zur Beſtimmung der Vergrößerung m kann man wieder annehmen, daß a o b der Sehwinkel des Gegenſtandes für das freie, und a o′ b für das bewaffnete Auge ſey. Man hat daher, wie vorhin

$$\frac{tang\ a\,o'\,c}{tang\ a\,o\,c} = \frac{o\,c}{o'\,c} \text{ oder nahe } \frac{a\,o'\,b}{a\,o\,b} = \frac{o\,c}{o'\,c} = m.$$

Heißt man die Brennweite des Objectivglaſes, die man $= o\,c$ ſetzen kann, p; jene des Ocularglaſes p′, und ſetzt man, da $o'c < p'$ ſeyn muß, $o'\,c = p' - \delta$, ſo wird

$$m = \frac{p}{p' - \delta},$$

oder in ſofern man δ vernachläßigen darf,

$$m = \frac{p}{p'},$$

d. i. die Vergrößerungszahl gleicht dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes.

Dieſe Inſtrumente werden gewöhnlich mit der größten Sorgfalt conſtruirt, damit ſie von den Himmelskörpern, zu deren Beobachtung man ſie anwendet, ein ſtark vergrößertes und doch recht deutliches Bild geben. Darum muß man auch die Farbenzerſtreuung des Oculars durch Einführung eines Collectivglaſes, wie bei den Mikroſkopen aufheben, um ſo mehr, als dadurch zugleich auch das Geſichtsfeld vergrößert wird. Hinſichtlich deſſelben gilt hier alles, was in Betreff des Oculares eines zuſammengeſetzten Mikroſkopes geſagt wurde. Es ſtimmt auch die Einrichtung des Ocularapparates eines aſtronomiſchen Fernrohres mit jenem des Mikroſkopes in der Regel überein; nur für beſondere Zwecke bedient man ſich der von Ramsden zuerſt ausgeführten Einrichtung, bei der die vom Objectiv kommenden Strahlen erſt, nachdem ſie ein Bild geliefert haben, ins Collectivglas eintreten, mithin zwiſchen dieſes und das Ocular kein Bild fällt. Es werden nämlich oft bei ſolchen Fernröhren an der Stelle des Diaphragma's, d. i. an den Platz des vom Objectiv herrührenden Bildes am Oculare feine Fadenkreuze oder Mikrometer eingeſetzt, um damit Objecte meſſen zu können. Ramdens Ocular geſtattet die Vertauſchung deſſelben mit einem andern ſchärferen oder ſchwächeren, ohne Aenderung des Mikrometers, während bei der früheren Anordnung mit jedem Oculare ein beſonderes Mikrometer verbunden ſeyn muß. Bei ſehr ſtarken Vergrößerungen iſt man genöthigt auf das Collectiv gänzlich zu verzichten.

393. Um irdiſche Gegenſtände ſtark vergrößert und doch aufrecht zu ſehen, verbindet man mit dem Objective ein dreifaches oder gar ein vierfaches Ocular und erhält ſo ein Erdfernrohr. Ein ſolches ſtellt Fig. 371 dar. Das Objectivglas A macht von einem hinreichend entfernten Gegenſtande ein verkehrtes Bild a b; von dieſem fallen die Strahlen auf das erſte Ocularglas B, gelangen von dieſem auf das zweite C und auf das dritte und vierte D und E ſo, daß entweder hinter dem zweiten C oder hinter dem dritten ein aufrechtes

Bild des Gegenſtandes entſteht, welches, durch die zwei oder durch die eine noch übrige Ocularlinſe angeſehen, in der deutlichen Sehweite erſcheint. Es dienen daher die Linſen B und C zur Umkehrung des Bildes, die Linſe D zur Achromatiſirung des vom Oculare E gemachten Bildes. Die Vergrößerung eines ſolchen Inſtrumentes hängt von dem Verhältniſſe der Brennweiten der einzelnen Linſen und von ihrer gegenſeitigen Entfernung ab. Darum kann man mit demſelben Inſtrumente, ohne das Ocular zu verwechſeln, mehrere Vergrößerungen dadurch hervorbringen, daß man die Entfernung der Ocularlinſen von einander ändert. Damit aber dadurch die Deutlichkeit nicht leide, darf nur die Lage der drei inneren Oculare gegen einander, nicht aber die des äußerſten gegen das Auge geändert werden, auch wird es für dieſe nur beſtimmte Lagen geben, wo ſie ihren Dienſt nicht verſagen. Derlei Oculareinrichtungen heißen Pancratiſche oder Kitſchinerſche. (Zeitſchr. 4. 501.)

Als eines der größten dioptriſchen Fernröhre, welche bis jetzt verfertigt wurden, kann der Fraunhofer'ſche Refractor zu Dorpat angeführt werden. Sein Objectiv hat 9 P Z. Oeffnung und 160 Zoll Brennweite, und vergrößert mit dem ſchärfſten Oculare 600mal. Er iſt zugleich mit einem Uhrwerke eigener Art in Verbindung, durch welches er in 24 Stunden in einem Kreiſe wie ein Fixſtern herumgetrieben wird, ſo daß, wenn einmal ein Fixſtern in das Geſichtsfeld gebracht iſt derſelbe ſtets darin bleibt, ohne einer Beihilfe des Beobachters zu bedürfen.

394. Zur Zeit, als man noch an der Möglichkeit achromatiſcher Linſen zweifelte, wußte man kein anderes Mittel, durch Fernröhre reine und vom farbigen Rande möglichſt freie Bilder entfernter Gegenſtände zu bekommen, als durch Anwendung der Spiegel ſtatt der Linſen. Auf dieſe Weiſe entſtanden die katoptriſchen Fernröhre, von denen vorzüglich vier Gattungen bekannt ſind: nämlich das Herſchel'ſche, das Newton'ſche, das Gregory'ſche und das Caſſegrain'ſche.

395. Ein Fernrohr nach Herſchel's Art beſteht aus einem Hohlſpiegel AB (Fig. 372), der etwas gegen die Axe der Röhre, in welcher er ſich befindet, geneigt iſt und von weit entfernten Gegenſtänden ein verkehrtes Bild ab in der Nähe des unteren Randes der Röhre macht, das man durch eine Ocularlinſe C anſehen kann. Solche Inſtrumente müſſen ſehr große Spiegel haben, damit die Anzahl der Strahlen, welche durch den Kopf des Beobachters vom Spiegel abgehalten werden, gegen die ganze Lichtmenge, welche den Spiegel trifft, unbedeutend ſey.

Das große Inſtrument, womit Herſchel einen bedeutenden Theil ſeiner ſo wichtigen Entdeckungen machte, hatte einen Hohlſpiegel von 4 Fuß Durchmeſſer und einer Brennweite von 40 Fuß; er wog 25 Zentner. Dieſes Inſtrument vergrößerte 7000mal und brachte 36500mal mehr Licht ins Auge, als von demſelben Objecte frei dahin gelangen konnte.

396 Im Newton'ſchen Fernrohre werden die von einem entfernten Gegenſtande auf den großen Hohlſpiegel A B (Fig. 373) fallenden und von da zurückgeworfenen Strahlen von einem kleineren, gegen die Axe des erſteren unter 45° geneigten Planſpiegel C D, nach einer ſeitwärts angebrachten Converlinſe E reflectirt, ſo daß das verkehrte Bild des Gegenſtandes durch E angeſehen werden kann. Es hat aber die Unbequemlichkeit, daß es die Gegenſtände verkehrt zeigt und daß man zum Aufſuchen derſelben viele Mühe braucht. Indeß wird letzteres durch ein kleines dioptriſches Fernrohr (Sucher), das mit der Axe des Rohres parallel läuft, bedeutend erleichtert.

397. Das Gregory'ſche Fernrohr (Fig. 374) vereiniget durch einen Hohlſpiegel A B die von einem entlegenen Gegenſtande kommenden Strahlen zu einem verkehrten Bilde a b. Von dieſem gelangen die Strahlen auf einen zweiten kleinen Hohlſpiegel C D, werden da gegen den großen Spiegel reflectirt, in deſſen Mitte ſich ein Loch befindet, und zu einem aufrechten Bilde c d vereiniget, welches durch die im Loche des Spiegels befindliche Converlinſe E angeſehen werden kann. Dieſes Inſtrument zeigt zwar aufrecht und vergrößert, aber die Bilder leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgeſtalt beider Spiegel ſehr an Deutlichkeit.

398. Um die große Abweichung wegen der Kugelgeſtalt, die im vorigen Inſtrumente Statt findet, zu vermindern, hat Caſſegrain ſtatt des kleineren Concavſpiegels einen kleinen Converſpiegel angebracht. Da ſind aber die Spiegel ſo geſtellt, daß die Strahlen vom concaven eher auf den converen fallen, als ſie zu einem Bilde vereiniget werden.

399. Das Ocular eines Fernrohres muß mit ſeinem Objective, es mag dieſes nun eine Linſe oder ein Spiegel ſeyn, ſo verbunden werden, daß ihre Axen in einer geraden Linie liegen. Beide werden in Röhren eingeſetzt. Das Ocular bekommt gewöhnlich eine eigene Röhre, damit es die für jedes Auge und für jede Entfernung des zu betrachtenden Gegenſtandes angemeſſene Entfernung vom Objective annehmen kann. Kleinere Inſtrumente, deren Länge nicht viel über zwei Fuß beträgt, bekommen Zugröhren, damit ſie ſich zuſammenſchieben und bequem tragen laſſen. Größere kann man nicht mit Zugröhren verſehen, weil dieſe faſt nie völlig gerade ſind; ſelbſt wenige Zolle lange Zugröhren paſſen nur in einer gewiſſen Lage gut zuſammen, die darum oft mittelſt Sternchen bezeichnet iſt. Das Innere der Röhren wird zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt, und an den Stellen, wohin die wirklichen Bilder fallen, mit Diaphragmen verſehen. Bekommt ein ſolches Inſtrument ein Fadenkreuz, ſo muß dieſes an der Stelle eines Bildes angebracht werden. Katoptriſche Inſtrumente werden faſt immer mit Metallfaſſungen verſehen und laſſen ſich nicht wohl als Taſchenfernröhre brauchen. Bei dieſen ſowohl, als bei dioptriſchen Inſtrumenten muß das Ocular in Betreff der Oeffnung und Brennweite zum Objective paſſen. Gewöhnlich iſt

es eine Planconvexlinſe, nur bei dialytiſchen Fernröhren iſt es aus guten Gründen biconvex.

400. Ein Fernrohr iſt deſto vollkommener, je mehr es vergrößert, je deutlicher und heller ſeine Bilder ſind und je größer ſein Geſichtsfeld iſt. Jede einzelne dieſer guten Eigenſchaften läßt ſich aber nur auf Koſten der übrigen erhöhen. Will man z. B. die Vergrößerung ſteigern, ſo muß man bei demſelben Objective ein Ocular mit kürzerer Brennweite nehmen; dieſes muß aber eine kleinere Oeffnung erhalten, wenn das Bild deutlich bleiben ſoll, und wird darum ein kleineres Geſichtsfeld gewähren. Daß das Bild an Helligkeit verlieren müſſe, iſt für ſich klar, auch iſt es leicht einzuſehen, daß dieſe bei derſelben Vergrößerung mit der Oeffnung des Objectives wachſen muß. Darum verträgt jedes Fernrohr mit einem beſtimmten Objective nur eine gewiſſe Vergrößerung.

Die vorzüglichſten Fernröhre ſind ohne Zweifel bis jetzt von Fraunhofer, Merz und Plößl verfertigt worden.

401. Zur Prüfung eines Fernrohres auf Deutlichkeit und Klarheit taugen vorzüglich Objecte, die leuchtend auf dunklem Grunde erſcheinen, mithin vorzüglich Himmelskörper zur Nachtszeit, wohl auch weiße Puncte oder Scheibchen auf ſchwarzem Grunde bei hinreichender Tageshelle. Ihr Bild muß rein und ſcharf begrenzt erſcheinen, es mag in der Mitte des Geſichtsfeldes oder am Rande desſelben ſich befinden. Uebrigens ſoll ein gutes Fernrohr ſo beſchaffen ſeyn, daß man durch jeden Punct des Objectives das Ocular ſieht, erſteres ſoll frei von Wellen ſeyn, wenigſtens nicht viele Blaſen haben und keine Farbenringe zeigen. Die Größe des Geſichtsfeldes wird erkannt, wenn man den Geſichtswinkel des Gegenſtandes beſtimmt, den man auf einmal überſieht. Um die Vergrößerungszahl zu finden, ſieht man auf einen in gleiche Theile getheilten Gegenſtand durch das Fernrohr und zugleich mit freiem Auge, und ſchätzt, wie viele der mit freiem Auge geſehenen Theile auf einen Theil, wie er durch das Fernrohr erſcheint, fallen. Man wendet da mit Vortheil ein ähnliches Verfahren an, wie bei Mikroſkopen (386), indem man die Größe des Bildes einer in beſtimmter Entfernung mit freiem Auge geſehenen Linie mit dem derſelben Linie, durch das Fernrohr in gleicher Entfernung geſehen, vergleicht (Jacquin in Zeitſchr. 2. 101). Endlich ſchließt man nicht ſelten aus der Größe der Lichtſcheibe, welche am Oculare bei voller Beleuchtung des Objectives oder eines durch einen Schirm beſtimmten Theiles deſſelben erſcheint, indem man letzteren durch erſtere theilt. Zum Meſſen dieſer Größe hat man eigene Inſtrumente. (Ramsden's Dynamometer oder Auxometer.)

402. Die dioptriſchen Inſtrumente haben ſchon wegen ihrer bequemeren Einrichtung und ihrer größeren Dauer vor den katoptriſchen einen großen Vorzug; ſollen ſie aber in ſehr großem Maßſtabe verfertiget werden, ſo findet man ein bis jetzt unüberſteigliches Hin-

derniß an der Schwierigkeit, große homogene Glasſtücke zu erhalten, während große Hohlſpiegel ohne Vergleich leichter zu haben ſind. Amici und J. Herſchel haben eine Vergleichung zwiſchen einem guten katoptriſchen und einem dioptriſchen Inſtrumente angeſtellt. Nach Amici leiſtet ein achromatiſches Fernrohr mit der Oeffnung 1 daſſelbe, was ein katoptriſches mit der Oeffnung $1^1/_3$ leiſtet. Nach Herſchel iſt dieſes Verhältniß 5 : 6, wenn das katoptriſche nur einen Spiegel hat, hingegen 7 : 10, wenn es mit zwei Spiegeln verſehen iſt.

Von den optiſchen Inſtrumenten handeln: Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 158—251. Practiſche Dioptrik, von J. J. Prechtl. Wien, 1828. Littrow's mathematiſche Abhandlungen über Objective und Oculare zu Fernröhren, in Zeitſchr. 3. 129. 283; 4. 17, 195. Littrow's Dioptrik. Wien, 1830. Teorica degli stromenti ottici di J. Santini. 2 Tom. Padova, 1828.

Ueber die Lehre vom Lichte als objectiven Grund des Sehens überhaupt ſiehe: Newtoni optica. Lond. 1729. 4. Smith, vollſtändiger Lehrbegriff der Optik. Leipzig, 1755. 4. R. Boscovich opera pertinentia ad opticam et astronomiam. Bassano, 1785. Prieſtley's Geſchichte der Optik Leipzig, 1776. 4. Nuovo trattato d' ottica di L. Nobili. Milano, 1820. 8. An elementary treatise on Optics by Coddington. Cambridge, 1823. 8. Herschel on light. London, 1830. Optics by Dr. Brewster. Lond. 1831. Schmidt's Optik, herausgegeben von Goldſchmidt. Göttingen, 1834. Analytiſche Optik von D. L J. Schleiermacher. 1 Th. Darmſtadt, 1842. Airy, Mathematical Tracts. Cambridge 1831, hierin die Abhandlung On the Undulatory theory of Optics. Kunzek, die Lehre vom Lichte. Lemberg, 1836. Handbuch der Optik von Radicke. Berlin, 1839. Dove's Repertorium, 3. Bd. Gehler's Wörterbuch unter verſchiedenen Artikeln. Ueber die mathematiſche Darſtellung der Undulationstheorie ſind die neueren Abhandlungen von Cauchy in deſſen Exercices d'Analyse et de Physique mathématique vorzüglich wichtig. Da dieſe Theorie der Lichterſcheinungen ſich lediglich auf die Geſetze der ſchwingenden Bewegung gründet, ſo iſt begreiflich, daß ihre weitere Ausbildung nicht ſowohl von neuen Erfahrungen, als von den Fortſchritten der theoretiſchen Mechanik abhängt, die ihrerſeits wieder zum Theil durch jene der mathematiſchen Analyſis bedingt werden. Die raſchen Fortſchritte auf dieſem Felde in unſeren Tagen laſſen erwarten, daß auch die bis jetzt noch weniger aufgeklärten Gegenſtände bald ins Reine gebracht werden dürften. Hieher gehören insbeſondere die Erſcheinungen der Abſorption des Lichtes, warum in gewiſſen Körpern nur gewiſſe farbige Strahlen fortgepflanzt werden u. dgl, wofür auf theoretiſchem Wege bereits von Wrede und Cauchy Bedeutendes geleiſtet worden iſt (ſ. Pogg. Ann. 33. 353; 39. 40). Ferner der Zuſammenhang zwiſchen den Körpertheilchen und jenen des Aethers u. dgl., worüber Lamé und Lloyd Unterſuchungen angeſtellt haben.

Dreizehntes Kapitel.

Chemiſche Wirkungen des Lichtes.

403. Es iſt bereits am Eingange dieſes Abſchnittes angedeutet worden, daß das Licht nicht bloß zur Sichtbarmachung der Gegenſtände diene, ſondern mannigfaltige chemiſche und phyſiologiſche Wirkungen hervorbringe. Nur von den erſteren, welche namentlich durch die in neueſter Zeit gemachten photographiſchen Entdeckungen ein beſonderes Intereſſe erlangt haben, kann hier näher gehandelt werden.

Den Einfluß des Lichtes auf das Gedeihen der organiſchen Welt bethätigen viele Erſcheinungen. Menſchen, welche fortwährend in dunklen Oertern wohnen, büßen alle Lebensfülle und das Roth der Geſundheit ein; in Zimmern, Kellern u. ſ. w. gezogene Pflanzen wenden ſich ſtets nach der lichteren Seite und bilden ſogar Knie, um dem Lichte zu begegnen; viele Pflanzen verlieren die ſchöne grüne Farbe, wenn man ſie mit undurchſichtigen Körpern bedeckt, weil ſie nur unter dem Einfluſſe des Lichtes im Stande ſind, die aus der Luft oder dem Waſſer aufgenommene Kohlenſäure zu zerlegen und ſich den Kohlenſtoff anzueignen, welcher zur Bildung des Blattgrün (Chlorophyll) nöthig iſt. Darum entwickeln ſie auch nur im Sonnenlichte Sauerſtoffgas, während ſie im Finſtern die aufgenommene Kohlenſäure unverändert von ſich geben; das herrliche Farbenſpiel der im tropiſchen Himmelsſtriche wachſenden Pflanzen ſteht gleichfalls mit dem intenſiveren Sonnenlichte im Zuſammenhange.

404. Das Licht vermag ſowohl Verbindungen wie auch Trennungen der Stoffe einzuleiten. Im Allgemeinen befördert es die Verbindung des Waſſerſtoffes mit den Haloiden und die Trennung letzterer wie auch des Sauerſtoffes von den Metallen. So wirken Chlor und Waſſerſtoff im Dunkeln nicht auf einander. Chlorflüſſigkeit, durch Abſorption von Chlorgas in Waſſer bereitet, hält ſich nur im Dunkeln; im Lichte wird das Waſſer zerlegt, der Waſſerſtoff deſſelben bildet mit dem Chlor Salzſäure und der Sauerſtoff entweicht. Setzt man ein Gemenge von trockenem Chlor- und Waſſerſtoffgas dem Tageslichte aus, ſo geht die Verbindung beider Stoffe langſam vor ſich, im Sonnenlichte aber erfolgt die Verbindung unter heftiger Exploſion. Die Salpeterſäure wird im Sonnenlichte unter Ausſcheidung von Sauerſtoff in ſalpetrige Säure umgewandelt und färbt ſich daher gelb, endlich roth. Gold trennt ſich im Sonnenlichte von den Stoffen, mit denen es verbunden iſt, theils in metalliſcher Geſtalt, theils als niederes Oxyd; insbeſondere ſind in dieſer Hinſicht die Verbindungen des Silbers mit Jod, Chlor, Brom und andern Stoffen ausgezeichnet, welche durch den Einfluß des Lichtes zerlegt werden, ſo daß das Metall entweder rein ausgeſchieden wird oder doch eine niedrigere Verbindung mit dem Chlor, Jod, Brom ꝛc. eingeht. Hievon rührt die Umwandlung der lichten Farbe der mit Löſungen dieſer Körper beſtrichenen weißen Papiere in dunkle Farbentöne her. Da dieß nur an den Stellen ge-

ſchieht, wohin Licht kommt, und zwar nach Maßgabe ſeiner Intenſität, ſo daß die genannte Wirkung, wie Arago's Verſuche lehrten, an den dunklen Stellen eines Interferenzſpectrums wegfällt; ſo kann dieſelbe nur dem Lichte als ſolchem zugeſchrieben werden. Doch muß man ſich hüthen, jene Wirkungen des Sonnenlichtes, welche auf Rechnung ſeiner erwärmenden Kraft kommen, als primäre Wirkungen des Lichtes anzuſehen. Die durch das Licht bewirkten chemiſchen Erſcheinungen werden, wie Edmund Becquerel wahrgenommen hat, von elektriſchen Effecten begleitet. (Pogg. Ann 55. 588.)

Ueber die chemiſchen Wirkungen des Lichtes von Suckow. Darmſtadt, 1832. Landgrebe, über die chemiſchen und phyſiologiſchen Wirkungen des Lichtes. Marburg, 1834.

405. Die chemiſchen Wirkungen des Lichtes haben neueſtens eine intereſſante und keineswegs unwichtige Anwendung auf die Erzeugung der ſogenannten Lichtbilder gefunden. Obgleich die Idee dazu ſich bald, nachdem man die Verdunklung des Chlorſilbers im Sonnenlichte wahrgenommen hatte, darbot, ſo haben doch erſt die Verſuche von Niepce und Daguerre einerſeits und die von Talbot andererſeits der neuen Kunſt, welche am ſchicklichſten Photographie genannt wird, die Bahn gebrochen. Die Hauptleiſtung dieſer Kunſt iſt die Fixirung der Bilder der Camera obſcura auf einem Schirme, deſſen Oberfläche für die Einwirkung des Lichtes ſo empfindlich iſt, daß ſie eine Veränderung durch das Licht erfährt, die ſich durch entſprechende Manipulation ſichtbar machen und bleibend erhalten läßt. Eine untergeordnete Leiſtung iſt das Copiren von Zeichnungen, Kupferſtichen, Lithographien, welches man dadurch bewirkt, daß man ſie auf einen hinreichend durchſichtigen Stoff, wie z. B. Glas, Papier anbringt, auf einer photographiſchen Platte befeſtiget und der Einwirkung des Sonnenlichtes ausſetzt. Da hier das Licht auf alle Stellen des photographiſchen Stoffes wirket, mit Ausnahme jener, die ſich hinter der Zeichnung befindet, ſo wird dieſe dadurch auf jenem Stoffe ſichtbar. Die bis jetzt erhaltenen photographiſchen Bilder ſtellen nicht, wie die Werke der Malerei, die natürlichen Farben der Gegenſtände dar, ſondern ſind nur den Bleiſtift- oder Federzeichnungen, Kupferſtichen, Lithographien, überhaupt den mit gleichartigem Colorit ausgeführten Darſtellungen vergleichbar, welche bloß die Umriſſe der Gegenſtände und die Grade ihrer Helligkeit oder die Art der Beleuchtung nachahmen. An einem photographiſchen Bilde haben entweder die einzelnen Theile dieſelbe Lage, wie am abgebildeten Gegenſtande oder es iſt dieſe Lage im Verhältniſſe von Rechts zu Links umgekehrt, ſo wie das Bild in einem ebenen Spiegel oder der Abdruck einer Kupferplatte gegen die Zeichnung auf der Platte ſelbſt erſcheint. Man kann Bilder von der erſteren Art directe, die von der letzteren inverſe nennen. Ferner zeigen ſich entweder die lichteren Stellen am Originale im photographiſchen Bilde gleichfalls durch lichtere, die dunklen Stellen oder Schatten am Originale durch dunkle Abſtufungen im Bilde repräſentirt, oder es findet gerade das Gegentheil Statt, die

Lichter an dem Originale ſind im Bilde durch dunkle, die Schatten am Originale durch helle Farbentöne im Bilde gegeben. Man kann die in der ſo eben genannten Beziehung naturgetreuen Bilder poſitive nennen, im Gegenſatze mit denjenigen, wo Lichter und Schatten verwechſelt ſind, welche negative Bilder heißen mögen. Was die photographiſchen Verfahrungsweiſen ſelbſt betrifft, ſo laſſen ſie ſich nach ihren Urhebern unter zwei Rubriken bringen, welche wir durch die Benennungen Daguerre'ſche und Talbot'ſche Methode von einander unterſcheiden wollen.

406. Das Material, worauf nach der Daguerre'ſchen Methode (Daguerreotypie) die Lichtbilder dargeſtellt werden, iſt ein Metall, am beſten Silber. Man bedient ſich dazu einer ſauber plattirten Kupferplatte mit glatter, gleichförmiger, von Riſſen und Furchen freien Oberfläche. Man reiniget ſie ſorgfältig und polirt ſie, bis ſie eine gleichförmig ſpiegelnde Fläche hat, ſetzt ſie dann den Dämpfen von feſtem oder flüſſigem Jod oder wenn man ſie für das Licht beſonders empfindlich machen will, denen einer Chlorid- oder Bromjodlöſung aus, bis die Spiegelfläche in Folge der gebildeten Silberjodverbindung oder des Jodbromür oder Jodchlorür eine goldgelbe oder röthliche Farbe angenommen hat. Die ſo bereitete Platte wird dann gegen Licht geſchützt in die Camera obſcura an jene Stelle gebracht, wo ſich das Bild des zu copirenden Gegenſtandes ſcharf darſtellt. In Kurzem hat das Licht an jenen Stellen, welche es getroffen, eine ſeiner Intenſität und Wirkungsfähigkeit proportionale chemiſche Wirkung hervorgebracht, die aber noch nicht ſichtbar iſt. Um ſie ſichtbar zu machen, ſetzt man die Platte in gehörige Entfernung von Queckſilber bei einer Temperatur von 50° — 55° R. den Dämpfen deſſelben aus. Da hängen ſich feine Queckſilbertröpfchen an jenen Stellen an, welche durch das Licht verändert worden ſind, und zwar deſto reichlicher, je ſtärker das Licht eingewirkt hat. Um aber, nachdem das Bild gehörig entwickelt iſt, die Platten gegen weitere Veränderung durch das Licht zu ſchützen, muß man den unverändert gebliebenen Silberüberzug wegſchaffen. Dieſes geſchieht dadurch, daß man die Platte in eine wäſſerige Löſung von unterſchwefeligſaurem Natrum oder in eine ſiedend heiße, geſättigte Kochſalzlöſung taucht und nachdem der Jodüberzug aufgelöſet iſt, das Bild mit deſtillirtem Waſſer übergießt und hierauf ſchnell durch Wärme trocknet. Man erhöht den Effect des Bildes durch einen feinen Ueberzug von Gold oder einem andern Metall, den man erzeugt, indem man die Platte mit einer Auflöſung eines ſolchen Metalls behandelt. Das Bild wird daher durch den Abſtich der feinen lichtzerſtreuenden Queckſilberkügelchen gegen die ſpiegelnde Silberfläche ſichtbar und iſt ſomit ein negatives, wenn man es ſchief anſieht, hingegen ein poſitives, wenn man ſich ſo gegen die Platte ſtellt, daß die matte Silberfläche kein Licht ins Auge ſendet, daher ſchwarz erſcheint, während die Queckſilbertröpfchen zerſtreutes Licht dahin gelangen laſſen. Durch Vergolden wird die Silberfläche dunkler, das Queckſilber feſter adhärirend.

Die weſentlichen Bedingungen zur Erzeugung guter Lichtbilder ſind die zweckmäßige Zurichtung der Platten und das Bekleiden derſelben mit einer Schichte von Jod-, Jodbrom- oder Jodchlorſilber. Beides wird nach C. Reißer's Anleitung auf nachſtehende Weiſe gehörig verrichtet: Man befeſtige die plattirte Kupferplatte mit der Kupferſeite auf einem kleinen Holzſtativ, das dünn mit Kautſchouk überzogen iſt dadurch, daß man letzteres ſchwach mit Terpentinöhl benetzt und dann die Metallplatte daran drückt, und ſchleife ſie dann zuerſt mit fein geſchlämmten, mit Alkohol ſchwach befeuchteten Tripel mit Hülfe eines Bällchens zarter Baumwolle, indem man bei mäßigem Drucke kreisförmig auf derſelben herumfährt, bis ſie matt blank erſcheint. Dann beſtaubt man ſie mit trockenem Tripel und ſchleift ſie auf dieſelbe Weiſe ſo lange, bis die Baumwolle grauſchwarz geworden iſt und die Platte wohl rein aber immer matt ſpiegelt. Hierauf beginnt erſt das eigentliche Poliren. Es wird zu dieſem Ende die Platte mit ſehr fein geſchlämmtem Engelroth (Colcothar) beſtaubt und dieſes Pulver mittelſt reiner, jedoch auch mit Engelroth beſtaubter Baumwolle bei ſchwachem Drucke möglichſt gleichförmig im Kreiſe herumgeführt, bis die Oberfläche vollkommen rein ſpiegelt. Dieſelbe Operation verrichtet man noch einmal, wobei man aber nach entgegengeſetzter Richtung im Kreiſe herumfährt, und ſchließt endlich damit, daß man die Platte in geraden Strichen polirt, welche auf jener Richtung ſenkrecht ſtehen, nach welcher das Bild zu ſtehen kommen ſoll, alſo bei einem Längenbilde nach der Quere, bei einem Querſtück nach der Länge. Man erkennt eine gute Politur daran, daß, wenn man die Platte ſchwach behaucht, der Hauch ganz gleichförmig weiß erſcheint und wieder verſchwindet, ohne Flecken zurückzulaſſen, noch beſſer aber, wenn man die Platte einem weißen Gegenſtande gegenüber hält, der ſtark beleuchtet iſt, ſo daß hauptſächlich von dieſem Licht auf die Platte kommt, Da erſcheint eine gut polirte Platte nie wolkig oder ſtellenweiſe ſtreifig. Bemerkt man ein ſolches Verhalten der Platte, ſo muß mit dem Poliren fortgefahren werden, bis derlei Mängel ſich nicht mehr zeigen.

Das Jodiren geſchieht am beſten über einer ſtark mit Waſſer verdünnten Jodchlorürlöſung Man gibt dieſe Löſung in ein flaches Porzellangefäß, deſſen Rander wohl abgeſchliffen ſind, und legt die Platte ſo darauf, daß ſich jeder Punct der Silberfläche in einer Entfernung von etwa 4 L. vom Niveau der Flüſſigkeit befindet. Das Gefäß muß etwas breiter und länger ſeyn als die Platte, damit letztere nicht über den concaven Theil der Flüſſigkeit zu ſtehen komme.

Sobald man bemerkt, daß ſie einen röthlichen Farbenton angenommen hat, ſo nimmt man ſie weg und ſchützt ſie mit einer eigenen Kapſel vor Licht. Grünliches Schimmern der Platte beweiſet eine Verunreinigung der veränderten Silberſchichte, und wo dieſes bemerklich wird, thut man am beſten, die Platten wieder abzuſchleifen und friſch zu poliren.

Beim Einſetzen der Platte in die Camera obſcura muß der Deckel der Objectivlinſe geſchloſſen ſeyn. Iſt die Platte an ihrer Stelle, ſo nimmt man den Deckel weg und ſchließt ihn nach Kurzem wieder. Die Zeit, welche hiezu nöthig iſt, kann nur Uebung lehren. Sie wechſelt von einigen Secunden bis auf mehrere Minuten.

Beim Einlegen der Platte in die aus etwa 1 Quentchen Salz und 6 Unzen Waſſer beſtehende Salzlöſung hat man darauf zu achten, daß dieſelbe auf allen Theilen möglichſt gleichzeitig benetzt wird. Man bewegt ſie in der Salzlöſung etwas hin und her und ſpült ſie, nachdem ſie weiß erſcheint, mit einer reichlichen Menge deſtillirten Waſſers in etwas geneigter Lage ab. Sobald ſie rein abgewaſchen iſt, legt

man ſie wagrecht auf eine Art Roſt und gießt aus einer Höhe von 3–4 Z. eine etwa 1 L. dicke Schichte Goldlöſung darauf und erwärmet dann die Platte mit einer darunter geſtellten kleinen Weingeiſtlampe ſo lange, bis der Hintergrund im Bilde eine helle klare Farbe angenommen hat und das Bild kräftig hervortritt. Sobald dieſes der Fall iſt, gießt man ſchnell kaltes Waſſer darauf, ſtellt die Platte ſchief, läßt abermals Waſſer darauf fließen und trocknet ſie endlich in dieſer Stellung mittelſt einer Weingeiſtlampe. Gelbe Flecken, die ſich etwa beim Trocknen zeigen, kann man durch nochmaliges Abſpülen mit Waſſer und Erhitzen entfernen. Ein ſo erhaltenes Bild wird vom Lichte nicht mehr afficirt und haftet ſo feſt an der Platte, daß es ſogar ein ſchwaches Ueberwiſchen mit Baumwolle verträgt.

Zum Schluſſe iſt noch nöthig anzuführen wie das Jodchlorür und die Goldlöſung bereitet werde. Das Jodchlorür erhält man am leichteſten, wenn man Chlorgas, wie es eben in einer kleinen Retorte mittelſt Braunſtein und Salzſäure entwickelt wird, in einen Glascylinder leitet, auf deſſen Boden ſich trockenes, gepulvertes Jod befindet. Die ſchwarzbraune Jodmaſſe wird bald flüſſig und muß öfters umgerührt werden. Iſt der größere Theil Jod in dieſe Flüſſigkeit übergegangen, ſo hört man mit der weiteren Erzeugung auf, verſetzt die Flüſſigkeit mit etwa 16 Th. Waſſer, läßt das ſich abſcheidende Jod ſich abſetzen und braucht ſie gelegenheitlich zum Jodiren.

Die Goldlöſung erhält man, wenn man 16 Gran kryſtalliſirtes gelbes Chlorgold in 16 Unzen deſtillirtem Waſſer löſet und unter Umrühren 1—2 Tropfen Ammoniakflüſſigkeit zuſetzt. Hierauf löſe man 50 Gran unterſchwefeligſaures Natrum in 16 Unzen deſtillirtem Waſſer und miſche beide Flüſſigkeiten der Art mit einander, daß man die Goldlöſung tropfenweiſe und unter beſtändigem Umrühren in die Salzlöſung eintaucht. Die ſo erhaltene waſſerklare Flüſſigkeit dient nun zu der vorhin angegebenen Vergoldung des Bildes. (Reißer in Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie. 45. 359)

Das Weſentliche dieſes Verfahrens hat zuerſt Daguerre im Sommer 1839 bekannt gemacht; es ſind aber ſeit dieſer Zeit mehrere Einzelnheiten deſſelben zweckmäßig abgeändert worden und daran haben die öſt. Naturforſcher den größten Antheil genommen.

Statt des Jods in feſter Form wendet man nach Asherſon eine Löſung von Jod in ſchwachem Weingeiſte an, welche man noch mit Waſſer mengt; zur Wegſchaffung des unveränderten Jodſilbers nach der Expoſition der Platte in den Queckſilberdämpfen kann auch kalte Kochſalzlöſung dienen, wenn man nach Draper die darein gelegte Platte mit einem Zinkſtäbchen berührt. Die wichtigſten Modificationen betreffen aber die Erhöhung der Empfindlichkeit der Platte dadurch, daß man der Jodflüſſigkeit etwas Brom zuſetzt, oder eine Verbindung von Jod mit Chlor ſtatt reinen Jods anwendet, wie Kratochwila in Wien zuerſt gewieſen hat. Bemerkenswerth iſt noch die von den Gebrüdern Natterer in Wien wahrgenommene außerordentliche Empfindlichkeit einer gelb jodirten Platte, nachdem ſelbe einige Augenblicke über ſchwaches Chlorwaſſer gehalten wurde, bis ſelbe eine röthliche Färbung angenommen hat. Durch derlei Modificationen in Verbindung mit der Erhöhung der Lichtſtärke der Camera obſcura durch die von Prof. Petzval berechneten zuſammengeſetzten Objective, welche eine viel größere Oeffnung, als einfache oder gewöhnliche achromatiſche Linſen geſtatten, ohne der Schärfe des Bildes Eintrag zu thun, wurde es möglich, die zur gehörigen Einwirkung des Lichtes nöthige Zeit auf wenige Secunden zu reduciren und Probleme zu löſen, welche von dieſer Vervollkommnung weſentlich abhängen,

z. B. die Zuſtandebringung von Porträten, überhaupt die Darſtellung von Gegenſtänden, welche in einem Zuſtande der Veränderung begriffen ſind u. dgl.

Hartig in Braunſchweig lehrt mikroſkopiſche Daguerrebilder erzeugen. Er nimmt das Ocular- und Collectivglas vom Mikroſkope ab und legt auf den Körper desſelben die jodirte Silberplatte. (Pogg. Ann. 55. 176. Ueber Daguerreotypie ſiehe dieſelben Ann. 48. 193 u. 217.)

Schon Profeſſor Berres in Wien hat verſucht, Platten mit Daguerre'ſchen Bildern zu ätzen und hat in der That bereits Abdrücke ſolcher auf Papier geliefert, die für erſte Verſuchsreſultate alle Beachtung verdienten; neueſtens hat aber Fizeau (Comp. rendu. Jul. 1844 n. 2) eine Aetzmethode angegeben, die Großes zu leiſten verſpricht und von der hier angegeben werden ſoll, was davon bekannt geworden. Man behandelt zuerſt die Platte mit dem Daguerre'ſchen Bilde in der Wärme mit einem Gemenge von Salpeterſäure, ſalpetriger Säure und Salzſäure, welches die weißen Stellen des Bildes (das blanke Silber) angreift, ohne auf die ſchwarzen (das Queckſilber) zu wirken. Es bildet ſich aber auf erſteren bald unlösliches Silberchlorür, das man mit Aetzammoniak wegſchaffen muß. Hat man die Platte auf ſolche Weiſe zweimal behandelt, ſo iſt ſie ſchon zu Abdrücken auf Papier geeignet, doch ſind dieſe nicht kräftig genug. Um eine tiefere Gravirung zu erhalten, ſchreitet man zu einer anderen Procedur. Man überzieht die Platte mit einem trocknenden Oehle, z. B. mit Leinöhl und wiſcht dieſes von den lichten (nicht gravirten) Stellen weg, während es ſich in den Vertiefungen wie gewöhnliche Druckerſchwärze hält und daſelbſt beim Trocknen eine Art feſten Firniß bildet. Hierauf vergoldet man die Platte auf elektro-chemiſchem Wege, wobei ſich das Gold nur am Metall abſetzt, nicht aber die Gravür afficirt. Wäſcht man nach der Hand die Platte mit Aetzkali, ſo nimmt dieſes den Firniß weg und man kann nun das Aetzen mit den gewöhnlichen Aetzmitteln, z. B. mit Salpeterſäure, vollenden und die Platte für kräftige Abdrücke in großer Anzahl geeignet machen.

407. Talbot's Methode gründet ſich auf den Gebrauch eines beſonders zubereiteten, für das Licht ſehr empfindlichen Papieres, welches er kalotypes Papier nennt. Es wird nämlich gutes Schreibpapier mit einer ſchwachen Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd in Waſſer (100 Gr. Salz in 12 Loth Waſſer) auf einer Seite beſtrichen, getrocknet, ſodann in eine wäſſerige Löſung von Jodkalium (500 Gr. in 30 Loth deſtillirtem Waſſer) getaucht und wieder getrocknet, nachdem es zuvor durch gewöhnliches Waſſer gezogen worden. Dieß Papier nennt Talbot »jodirtes« Papier. Es wird vor dem Lichte geſchützt aufbewahrt. Zum photographiſchen Gebrauche wird es in einem finſtern Orte mit einer Mengung gleicher Raumtheile zweier Flüſſigkeiten, nämlich einer Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd (100 Gr. in 4 Loth deſtillirtem Waſſer), der man concentrirte Eſſigſäure (den ſechsten Theil des Volums) zugeſetzt hat, und einer geſättigten Löſung von Gallusſäure überſtrichen. Dieſe Mengung wird, da die Flüſſigkeiten auf einander einwirken, nur in geringer Quantität, ſo wie es der Gebrauch fordert, vorgenommen. Das ſo zubereitete Papier iſt das kalotype Papier und muß alſogleich verwendet werden. Nach kurzer Einwirkung des Lichtes ſieht man auf ſelbem keine oder nur eine ſchwache Spur des Bildes; dasſelbe tritt aber kräftig her-

vor, wenn man das Papier noch einmal mit vorgenannter Mengung überſtreicht und hierauf gelinde erwärmt. Zur Fixirung des Bildes wird es mit einer Löſung von Bromkalium (100 Gr. in 16—20 Loth Waſſer) behandelt. Dies Bild iſt ein negatives. Um ein poſitives Bild zu erhalten, wird es noch einmal übertragen, indem man es auf ein ähnliches Papier zwiſchen zwei Glasplatten legt und dem Sonnenlichte ausſetzt. War das Bild, wie es die Camera obſcura ohne Spiegel gibt, ein inverſes, ſo wird die Copie zugleich direct. (Phil. Mag. 19. 164.)

Minder empfindlich als das kalotype ſind die gewöhnlichen photographiſchen Papiere. Unter dieſen ſteht das Bromſilberpapier oben an; nach ihm folgt das Chlorſilberpapier. Man erhält ſelbe, wenn man ein gutes Schreibpapier zuerſt mit einer ſchwachen Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd überſtreicht und ſodann mit einer Bromkalium- oder mit einer Kochſalzlöſung, oder auch mit letzterer Salzlöſung zuerſt und dann mit der Löſung des Silberſalzes. Solches Papier kann auch zum Copiren der auf kalotypem Papier erzeugten Bilder ſtatt eines andern kalotypen, und zwar wie Talbot angibt, noch mit größerem Vortheile für die Schönheit der Bilder angewendet werden. Die Talbot'ſche Methode iſt, in ſofern es ſich um reine Bilder handelt, bei weitem ſchwieriger auszuführen, als die Daguerre'ſche, auch bieten die nach ſelber erhaltenen Bilder keine ſolche Feinheit der Details dar.

408. Bei den bisher betrachteten Bildern unterliegt es keinem Zweifel, daß ſie ihr Entſtehen der Einwirkung des Lichtes verdanken. Es gibt aber noch andere, bei denen das Licht wahrſcheinlich keine andere Rolle ſpielt, als die eines Beleuchtungsmittels, daher an dem Entſtehen derſelben keinen Antheil hat. Schreibt man auf einem polirten Körper, z. B. auf einer Glas-, Holz-, Harz- oder Metallplatte mit einem Holzſtäbchen und behaucht hierauf dieſe Platte; ſo ſchlägt ſich der Waſſerdampf auf den berührten Stellen anders nieder als an den unberührt gelaſſenen, und die Züge der Schrift werden hiedurch ſichtbar. Daſſelbe erfolgt ſogar, wenn man einen an einer Glasſtange hängenden Waſſertropfen auf einer polirten Platte herumzieht, ſo daß er der Stange dabei immer folgt, ohne auf der Platte hängen zu bleiben. Läßt man einen gravirten Metallſtempel oder eine vertieft geſchnittene Achatplatte ꝛc. auf einer polirten Metallplatte einige Minuten liegen, und haucht dann die Platte, nachdem man den aufliegenden Körper abgehoben hat, an oder ſetzt ſie den Dämpfen von Queckſilber aus; ſo wird auf derſelben das Bild der Gravirung ſichtbar, indem ſich die Waſſer- oder Queckſilberdämpfe an den berührten Stellen anders und zwar nach Umſtänden ſtärker oder ſchwächer niederſchlagen als an jenen, wo keine Berührung Statt fand. Ja man erhält denſelben Erfolg ſelbſt ohne unmittelbare Berührung; denn auch wenn der gravirte Stempel in ganz geringer Entfernung von der Platte gehalten wird, erſcheint das Bild nach dem Behauchen oder nachdem man die Platten den Queckſilberdämpfen ausgeſetzt hat. Deckt man eine Metallplatte mit einem Papierſchirm, an dem belie-

bige Figuren ausgeſchnitten ſind, behaucht dann die Platte und läßt das Waſſer verdunſten; ſo wird nach abermaligem Behauchen die ausgeſchnittene Figur auf der Platte ſichtbar. Hierin ſieht man noch nichts, was die Daguerre'ſchen Bilder mit den hier beſprochenen in eine Klaſſe zu ſtellen veranlaſſen könnte; aber ein beachtenswerther Zuſammenhang zeigt ſich ſchon, wenn man einen der vorerwähnten Verſuche mit einer jodirten Silberplatte macht. Denn wird eine ſolche mit einem Metallſtempel oder einer anderen Gravirung nur einige Minuten in Berührung gebracht oder dem Stempel ꝛc. auch nur ſtark genähert und in dieſer Lage kurze Zeit belaſſen, hierauf aber den Dämpfen von Queckſilber ausgeſetzt; ſo tritt das Bild der Gravirung deutlich hervor. Es ſcheint alſo hier die Berührung oder auch nur die Annäherung ſo wie die Condenſirung der Dämpfe eben ſo gewirkt zu haben wie das Licht.

Dieſer Zuſammenhang veranlaßte den Entdecker deſſelben, Moſer, anzunehmen, daß jeder Körper Strahlen ausſendet, die auf andere ſo wirken wie Lichtſtrahlen, ohne aber die Netzhaut zu afficiren und ein Sehen zu bewirken. Moſer nennt ſie unſichtbares Licht. Dieſes Licht werde von Körpern gleich der Wärme gebunden (latent gemacht) und wieder frei gelaſſen. Die Erzeugung aller vorhin beſprochenen Bilder, die Daguerre'ſchen mit begriffen, rühren von dieſem Lichte her, und ſey das Reſultat der Bindung oder Ausſcheidung deſſelben, und als Folge dieſes Prozeſſes ergebe ſich die verſchiedene Condenſirung der Dämpfe auf der Oberfläche der Körper. So z. B. werden bei dem vorher beſchriebenen Verfahren, wo man einen Waſſertropfen auf einer Metallplatte herumführt, die Züge deſſelben darum ſichtbar, weil der Tropfen fortwährend verdunſtet, darum Licht bindet und die Stellen, wo dieſes geſchah, ſind es, welche die Dämpfe anders condenſiren als die übrigen, und darum werden ſie beim Behauchen ſichtbar. Eine chemiſche Wirkung des Lichtes iſt nach Moſers Anſicht gar nicht vorhanden und das Entſtehen eines Daguerre'ſchen Bildes oder eines andern durch Berühren oder Annähern erzeigten rührt nur davon her, daß an den vom Lichte getroffenen Stellen der Dampf gezwungen wird, die Gasgeſtalt aufzugeben und als tropfbarer Körper haften zu bleiben. Eine jodirte Platte hat vor einer andern nichts voraus, als daß ſie ſchneller vom Lichte afficirt wird.

409. Dieſer Anſicht ſteht eine andere von Dr. Waidele gegenüber, nach welcher die Annahme vom ſogenannten unſichtbaren Lichte und des Latent- und Freiwerdens deſſelben ganz überflüſſig wird und alles ſich aus bereits bekannten Naturgeſetzen erklärt. Die Körper beſitzen nämlich die Fähigkeit Gaſe zu abſorbiren, ſie an ihrer Oberfläche zu verdichten und ſich gleichſam mit einer verdichteten Atmoſphäre zu umgeben; dieſe Atmoſphäre iſt deſto dichter, je größer die Dichte des ſie umgebenden Mediums iſt, hängt aber übrigens von der Natur des betreffenden Körper und des Gaſes ab. Je mehr

von einem Gas ein Körper bereits um ſich verdichtet hat, deſto kleiner iſt ſein Vermögen, ein anderes Gas zu verdichten. Der Niederſchlag der Dünſte auf der Oberfläche der Körper erfolgt verſchieden, je nachdem mehr oder weniger Gas an derſelben condenſirt iſt, und Stellen, bei denen eine verſchiedene Gasabſorption Statt gefunden hat, condenſiren die Dämpfe, denen ſie ausgeſetzt werden, verſchieden. Wird z. B. eine Metallplatte zur Hälfte mit friſch geglühtem, alſo von der adhärirenden Luft befreiten Kohlenpulver beſtreut, zur Hälfte aber mit ſolchem, über welches Kohlenſäure geleitet worden, und nach 1—2 Minuten alles ſauber abgekehrt und die Platte den Queckſilberdämpfen ausgeſetzt; ſo condenſiren ſich dieſe nur auf jener Hälfte der Platte, wo das friſch geglühte Pulver gelegen hatte. Auf einer Daguerreſchen Platte ſcheidet das Licht an den getroffenen Stellen das Silber in Form feiner Kügelchen aus (I 45), während das frei gewordene Jod alſogleich mit dem übrigen Silber eine höhere Verbindung eingeht. Das frei gewordene Silber beſitzt nun wegen ſeiner feinen Vertheilung ein großes Abſorptionsvermögen für Gaſe, namentlich für Queckſilberdämpfe, und davon rührt das Sichtbarwerden der vom Lichte in der Camera obſcura getroffenen Stellen oder das Erſcheinen des Bildes her. Das Bild eines gravirten Stempels, der auf einer polirten Metallplatte ruht, wird durch Anhauchen darum ſichtbar, weil ſich die Gasatmoſphäre der Platte und des Stempels hier ausgleichen, wo ſie ſich berühren, d. h wo keine Gravirung Statt findet, während dieſes an den gravirten Stellen, wo keine Berührung eintritt, nicht ſeyn kann. Der Platte adhäriren darum an verſchiedenen Stellen verſchieden condenſirte Atmoſphären und dieſe enthalten den Grund der verſchiedenen weiteren Dampfcondenſirung an ſolchen Stellen. Darum erhält man kein Bild, wenn beide, Platte und Stempel in Kohlenpulver gelegen haben, das mit Kohlenſäuregas geſättiget war, und eben ſo wenig erſcheint ein ſolches, wenn Platte und Stempel ganz rein ſind. Wird ein Stempel, der einige Stunden in Kohlenpulver gelegen, ſchnell auf eine friſch polirte Platte gelegt, nach einer halben Stunde auf eine zweite, hierauf auf eine dritte u. ſ. w.; ſo erhält die erſte das ſtärkſte Bild, das zweite iſt ſchon ſchwächer, das dritte noch ſchwächer und endlich erhält man gar kein Bild mehr. Wird eine Platte durch aufgeſtreutes kohlenſäurehaltiges Kohlenpulver mit einer Kohlenſäureatmoſphäre verſehen und dann ein gravirter Stempel aufgelegt und durch Dampfcondenſation das Bild ſichtbar gemacht, hierauf aber gerade entgegengeſetzt verfahren, nämlich ein Stempel gewählt, der in kohlenſäurehaltigem Kohlenpulver gelegen hatte, und die Platte vollkommen gereiniget; ſo erhält man wohl auf jeder Platte ein Bild, allein dieſe Bilder ſind ſich entgegengeſetzt und wenn eines ein negatives iſt, ſo muß das andere ein poſitives heißen.

Dieſer Anſicht kann man Naturgemäßheit und ſcharfſinnige Durchführung nicht abſprechen, nur muß man ſich mit der Vorſtellung vertraut machen, daß verſchiedene Gasatmoſphären ſcharf begrenzt neben einander,

wenigſtens einige Zeit beſtehen können, wie dieſes die das kleinſte Detail darſtellenden Bilder nothwendig vorausſetzen. Jedenfalls kann man noch von einer chemiſchen Wirkung des Lichtes ſprechen, ohne die Grundſätze der wahren Naturforſchung zu verletzen. (Waidele in Pogg. Ann. 59. 255; Moſer über das Licht. Königsberg, 1843, oder Pogg. Ann. 56. 177; 57. 1, 320; 60. 18; 61. 569.)

410. Sehr bemerkenswerth iſt es, daß nicht alle das weiße Licht zuſammenſetzenden farbigen Strahlen eine gleiche Fähigkeit beſitzen, chemiſche Wirkungen hervorzubringen. Dieß hat ſchon Scheele beobachtet und alle ſpäteren Verſuche haben die Richtigkeit dieſer Beobachtung auf das Augenſcheinlichſte beſtätiget. Rothes Licht wirkt nämlich auf ein photographiſches Papier, welches früher noch von keinem andern Lichte getroffen wurde, ſo gut wie gar nicht, eben ſo wenig auf ein Gemenge von Chlorgas und Waſſerſtoffgas; kaum merklicher iſt die Wirkung des gelben Lichtes; erſt grünlichblaues Licht bringt eine merkliche Wirkung hervor. Die Fähigkeit, chemiſche Veränderungen hervorzurufen, kommt vorzugsweiſe nur dem blauen und violetten Ende des Spectrums zu, ja ſie zeigt ſich ſogar außerhalb dieſer Grenze, ſo daß man genöthigt iſt, die Exiſtenz von Strahlen im weißen Lichte anzunehmen, die unſer Auge nicht afficiren, aber chemiſche Effecte hervorzubringen vermögen und brechbarer ſind als die violetten Strahlen (vergleiche 350 Anmerkung). Man kann ſie chemiſche Strahlen nennen. Gefärbte Gläſer hemmen die chemiſche Wirkung des Lichtes in dem Maße, in welchem ſie die brechbareren Strahlen abſorbiren. Höchſt merkwürdig iſt die Entdeckung von Edmund Becquerel, daß rothe und gelbe Strahlen, welche Brom-Silberpapier, das noch von keinem Lichte getroffen worden, nicht afficiren, eine ſichtliche Wirkung zur Folge haben, ſobald dies Papier nur wenige Augenblicke dem Tageslichte ausgeſetzt war, mithin gleichſam den von den wirkſamen Strahlen begonnenen Effect fortſetzen. (Pogg. Ann. 54. 43.)

Aus dem Umſtande, daß nicht alle Lichtſtrahlen in chemiſcher Hinſicht gleich wirkſam ſind, folgt, daß die Lichtbilder in Hinſicht auf Licht und Schatten nicht vollkommen naturgetreu ſeyn können. Auffallend iſt die Unempfindlichkeit der Daguerre'ſchen Platten und der photographiſchen Papiere in der Camera obſcura für das Grün der Blätter der Pflanzen, was offenbar darin ſeinen Grund hat, daß dieſelben vorzugsweiſe die chemiſchen Strahlen im Sonnenlichte zum Behufe des Zerlegungsprozeſſes der Kohlenſäure als einer Function ihres organiſchen Lebens abſorbiren, und ſomit ſehr wenige derſelben reflectiren. Auch auf die Richtigkeit der Porträte hat die ungleiche chemiſche Kraft der farbigen Strahlen einigen Einfluß. Inſofern chemiſch minder wirkſame Strahlen einen vorangegangenen Effect wirkſamer Strahlen fortzuſetzen vermögen, wäre es räthlich, bei photographiſchen Verſuchen die jodirte Platte nicht zu ſorgfältig vor dem Lichte zu bewahren.

Vierter Abſchnitt.

Wärme.

Erſtes Kapitel.

Bewegungsgeſetze der ſtrahlenden Wärme.

411. Auf eine dem Schalle und dem Lichte ähnliche Weiſe pflanzt ſich noch ein anderes Agens fort, das von Körpern bei übrigens gleichen Umſtänden deſto reichlicher ausgeht, je wärmer ſie ſind, und wenn es von denſelben abſorbirt wird, in ihnen eine Temperaturerhöhung zur Folge hat. Man hält es darum für das Wärmeprincip ſelbſt und nennt es bei dieſer Art der Fortpflanzung ſtrahlende Wärme. Doch darf man nicht überſehen, daß die Identität der ſtrahlenden Wärme und des Agens, welches wir uns in warmen Körpern thätig denken, nicht erwieſen iſt, ja daß es nicht an Gründen fehlt, aus denen ſich ſchließen läßt, daß ſich beide zu einander wie Wirkung zur Urſache verhalten.

412. Von der Exiſtenz der ſtrahlenden Wärme kann man ſich durch Verſuche und Beobachtungen überzeugen. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß ein wärmerer Körper einen andern, von ihm entfernten erwärmt, daß dieſe Erwärmung augenblicklich erfolgt und von der Temperatur des dazwiſchen befindlichen Mittels und ſeiner Bewegung, z. B. der Luft unabhängig iſt. An eine Mittheilung der Wärme von dieſem Mittel iſt ſonach gar nicht zu denken. Dazu kommt noch, daß dieſe Einwirkung augenblicklich unterbrochen wird, wenn man in den geraden Weg zwiſchen beiden Körpern einen Stoff einſchiebt, von dem man, wie die Folge lehren wird, weiß, daß er die Wärme aufhält.

Stellt man ſich einem Kaminfeuer direct gegenüber, ſo empfindet man deutlich die Einwirkung der Wärme, ſelbſt wenn die Luft ringsum eiskalt iſt; dieſe Empfindung hört augenblicklich auf, wenn man ein Blatt Papier in den geraden Weg zwiſchen dem Feuer und dem Körpertheil, an dem man die Wärme empfindet, anbringt, ja ſogar eine Glastafel oder ein Glimmerblatt leiſtet daſſelbe, zum Beweiſe, daß es nicht das Licht iſt, welches die Erwärmung hervorbringt, weil dieſes vom Glas und Glimmer durchgelaſſen wird. Dieſe Erfah-

rung hat ſchon Scheele im Jahre 1777 gemacht. So wie ein Kaminfeuer, nur in geringerem Grade, wirkt auch jeder andere heiße Körper, wenn auch deſſen Temperatur weit von der Glühhitze entfernt iſt, ja ſogar ein Gefäß mit heißem Waſſer kann deſſen Stelle mit Erfolg vertreten. Am eclatanteſten zeigt ſich das Daſeyn der ſtrahlenden Wärme bei dunklen Körpern, wenn man das Thermometer in den Brennpunct eines metallenen Hohlſpiegels ſtellt und dieſem gegenüber den warmen Körper anbringt. Da ſteigt das Thermometer merklich, während man außerhalb des Brennpunctes keine Spur von Erwärmung wahrnimmt. Hier verhalten ſich alſo die Wärmeſtrahlen genau wie Lichtſtrahlen, indem ſie vom Spiegel zurückgeworfen und im Focus concentrirt werden.

413. Die eben beſprochenen Verſuche, bei denen ſich die Mittheilung der ſtrahlenden Wärme durch das Gefühl kund gibt, laſſen ſich auch ſo anſtellen, daß man dem Wärme ausſtrahlenden Körper ein Thermometer gegenüber ſtellt und deſſen Gang beobachtet. So lange man mit Körpern experimentirt, deren Temperatur hoch, etwa = 300° C. iſt, reicht man mit einem gewöhnlichen aber empfindlichen Queckſilberthermometer aus, für andere Temperaturen muß man ſich aber empfindlicherer Inſtrumente bedienen. Als ſolche verdienen hier vorzüglich die ſogenannten Differenzial-Thermometer genannt zu werden, Inſtrumente, die davon ihren Namen haben, weil ſie nicht die Temperatur ſelbſt, ſondern nur den Unterſchied der Temperaturen zweier Körper angeben.

414 Ein Differenzialthermometer beſteht im Allgemeinen aus einer zu zwei parallelen Armen aufgebogenen Glasröhre, die an jedem Ende mit einer Glaskugel verſehen iſt. Die Luft in der einen Kugel iſt von jener in der anderen durch eine tropfbare Flüſſigkeit getrennt und dieſe dient zugleich als Zeiger für das Volum der Luft in der einen und anderen Kugel. Die weitere Conſtruction kann auf zweierlei Weiſe geſchehen. Nach der einen ſind die Luftvolume in den zwei Kugeln veränderlich und es findet nur Gleichgewicht Statt, wenn in beiden dieſelbe Spannkraft herrſcht; nach der anderen hat die Luft in beiden Kugeln immer nahe dasſelbe Volum, aber eine verſchiedene Expanſivkraft, und das Gleichgewicht kann nur durch den Druck einer kürzeren oder längeren tropfbaren Säule hergeſtellt werden. Ein Thermometer der erſten Art hat kurze, aufwärts gebogene Schenkel und ein langes Zwiſchenſtück, es fordert eine ziemlich weite Röhre, einen kurzen Index, und die ganze Scale fällt in das Zwiſchenſtück; die Temperaturdifferenzen ſind den Unterſchieden der Luftvolume proportionirt. Von der Art iſt Rumford's Differenzial-Thermometer (Thermoſkop) Fig. 375. Ein Thermometer der zweiten Art hat lange Schenkel mit einem ganz kurzen Zwiſchenſtücke, die Röhre iſt enge, die Flüſſigkeit füllt einen Schenkel ganz und reicht bis in die Kugel, den anderen Schenkel füllt ſie nur zum Theile, und die Scale fällt ganz in den längeren aufrechten Arm; die Differenz des Druckes dieſer zwei Säulen entſpricht dem Temperaturunterſchiede. Von dieſer

Art iſt Leslie's Differenzial-Thermometer (Fig. 376). Bei letzterem iſt die Flüſſigkeit gefärbte Schwefelſäure. Nimmt man dazu eine flüchtige Flüſſigkeit, z. B. Aether, wie dieſes Schmidt und Howard gethan haben, ſo enthält die Luft auch Dünſte derſelben, und es wird im Falle der Erwärmung einer Kugel nicht bloß die Expanſivkraft der Luft und der Dünſte größer, ſondern es entſtehen von letzteren auch neue; das Inſtrument wird dadurch empfindlicher, kann aber nicht mehr oder wenigſtens nicht auf ſo einfache Art, wie eines der vorigen, graduirt werden. Das empfindlichſte und zu Verſuchen über ſtrahlende Wärme geeignetſte Inſtrument, welches darum auch die Thermoſcope ganz in den Hintergrund gedrängt hat, iſt die Thermoſäule. Sie iſt in der Art, wie ſie Melloni zuerſt gebraucht hat, in Fig. 377 abgebildet. A iſt die mit einem ſehr gut eingerichteten und höchſt empfindlichen Multiplicator verbundene, an beiden Enden mit Kienruß geſchwärzte Thermoſäule, B ein Poſtament, worauf man den wärmeſtrahlenden Körper anbringen kann, C ein Tiſchchen für Körper, durch welche die Wärmeſtrahlen gehen müſſen, bevor ſie zur Säule gelangen, D ein Schirm mit einer Oeffnung, um gerade nur einen gewiſſen Strahlenkörper durchzulaſſen, E ein anderer um eine Charniere beweglicher Schirm, der ſchnell zur Seite gebogen und leicht wieder vor die Säule geſtellt werden kann, um nach Umſtänden die Wärmeſtrahlen von der Säule ſchnell abhalten und wieder dahin gelangen laſſen zu können. Oft befindet ſich auch auf der entgegengeſetzten Seite der Säule ein Schirm, um da alle Wärmeſtrahlen möglichſt von ihr abzuhalten. Zu beſonderen Zwecken und zwar um die Einwirkung ſchwacher Wärmeſtrahlung auf die Säule zu verſtärken, hat man einen coniſchen Aufſatz an der Vorderſeite der Säule. Weſentlich iſt es, daß man die jedem Grade der Ablenkung der Magnetnadel entſprechende Temperaturerhöhung durch vorläufige Verſuche ausgemittelt habe.

Die von Melloni gebrauchte Säule beſtand aus 35 Paaren prismatiſcher Antimon- und Wismuthſtäbchen von 32 Mill. Länge, 2,5 Mill. Dicke und 1 Mill. Breite. Dieſe bildeten ein Prisma mit ebenen Endflächen von 4,240 Q. Cent., welches in einem Kupferring befeſtiget war. Beide Enden der Säule waren geſchwärzt, der durchlöcherte Schirm hatte eine Oeffnung von 4 Q. C. Der Multiplicator enthielt ganz eiſenfreien Kupferdraht und Windungen, welche durchgehends mit der Lage der Magnetnadel im Stande des Gleichgewichtes parallel waren und $^2/_3$ des Theilkreiſes deckten. Dieſer Kreis hatte 5 C. Durchmeſſer und die Bedeutung jedes Grades der Ablenkung der aſtatiſchen Magnetnadel ward vorläufig durch Verſuche gefunden; ja weil die Nadel durch den Impuls des von der Wärme erregten elektriſchen Stromes zu einem ſtärkeren Ausſchlag beſtimmt wird, als das Gleichgewicht zwiſchen dieſem Strom und dem Erdmagnetismus fordert, und ſie erſt nach mehreren Oscillationen in der Gleichgewichtslage in Ruhe kommt; ſo muß man, wenn ein Verſuch ſchnell beendiget werden ſoll, vorläufig das Verhältniß zwiſchen dem erſten Ausſchlag und der Lage des Gleichgewichtes ſuchen.

415. Die von den Körpern ausfahrenden Wärmeſtrahlen gehen

geradlinig fort, ſo lange ſie ſich im leeren Raume oder in einem homogenen Mittel befinden. Dieſes beweiſet der Umſtand, daß ein Körper gegen Wärmeſtrahlen durch einen Schirm geſchützt wird, wenn derſelbe die Lage hat, in welcher er die geradlinigen Lichtſtrahlen abhält. Es läßt ſich auch beweiſen, daß die Intenſität der von einem Körper ausſtrahlenden Wärme mit dem verkehrten Quadrate der Entfernung der Wärmequelle von der zu erwärmenden Stelle abnimmt, woraus man wieder auf die geradlinige Fortpflanzung derſelben einen Schluß machen kann. Höchſt wahrſcheinlich gilt aber die geradlinige Fortpflanzung der Wärmeſtrahlen mit derſelben Beſchränkung wie die des Lichtes (305). Daß die Wärmeſtrahlen von einigen Körpern durchgelaſſen werden, ergibt ſich ſchon aus dem Vorhergehenden, wo die Luft als von denſelben permeabel angeſehen werden muß. So wie die Luft verhalten ſich aber auch viele andere Körper. An der Grenze zweier heterogenen Mittel theilt ſich ein Wärmeſtrahl in zwei Theile, wovon einer ins alte Mittel zurückkehrt und zerſtreut oder regelmäßig reflectirt wird, während der andere ins neue Mittel eindringt oder abſorbirt wird. Sowohl der reflectirte als der eindringende Theil pflanzt ſich nach beſtimmten Geſetzen fort, von denen im Nachſtehenden die Rede ſeyn wird. Hier genügt es zu bemerken, daß ſelbſt die eingedrungenen Strahlen auf ihrem Wege eine Schwächung durch Abſorption erleiden.

416. In ſo ferne ein Körper Wärmeſtrahlen ausſendet, ſchreibt man ihm Ausſtrahlungs-(Emiſſions-)Vermögen zu. Dieſes wächſt mit der Temperatur des ausſtrahlenden Körpers, iſt von der Temperatur der Umgebung gänzlich unabhängig, ſoweit dadurch nicht der Wärmegrad des ausſtrahlenden Körpers ſelbſt afficirt wird, und richtet ſich überdieß auch nach der materiellen Beſchaffenheit des betreffenden Stoffes. So z. B. ſtrahlet bei übrigens gleichen Umſtänden Kienruß mehr Wärme aus als Hauſenblaſe, dieſe mehr als Tuſch, und dieſer wieder mehr als Gummilack; weniger als alle dieſe aber Metalle. Im Allgemeinen ſtrahlen weniger dichte Körper mehr Wärmeſtrahlen aus, als dichtere; insbeſondere zeigt ſich der Einfluß der Dichte auf das Ausſtrahlungs-Vermögen der Metalle in ſo hohem Grade, daß jede Operation, welche eine Verdichtung der oberflächlichen Schichte zur Folge hat, ſich durch Verminderung des Strahlungsvermögens kund gibt. So z. B. ſtrahlt eine gegoſſene Metallplatte mehr Wärme aus, als eine gehämmerte oder gewalzte. Ritzt man die Oberfläche einer gehämmerten polirten Platte, ſo erhöht man dadurch ihr Strahlungsvermögen, weil das Walzen die Oberfläche verdichtet und demnach durch das Ritzen minder dichte Stellen an die Oberfläche kommen. Bei gegoſſenen oder ohne Druck polirten Metallplatten hat das Ritzen ſogar eine entgegengeſetzte Wirkung, weil der damit verbundene Druck die Dichte der betreffenden Stellen vermehrt. Glas, Marmor und andere Körper, bei denen das Ritzen ohne Verdichtung vor ſich geht, ſtrahlen im geritzten oder ungeritzten Zuſtande gleich viel Wärme aus. (Melloni in Pogg. Ann. 45. 57.) Die

Geſchwindigkeit, mit der ſich die Wärmeſtrahlen in der Luft fortpflanzen iſt von der Bewegung der letzteren unabhängig und ſoll ſich nach Wrede's Verſuchen zu der des Lichtes wie 4 : 5 verhalten.

Man mißt das Strahlungsvermögen eines Körpers, indem man ihn im warmen Zuſtande einem Ende der Thermoſäule gegenüber ſtellt, deren anderes Ende gegen jede Wärmeſtrahlung durch einen Schirm geſchützt iſt, und die Größe der Ablenkung der Magnetnadel beobachtet. Auf ſolche Weiſe hat Melloni folgende Zahlenwerthe gefunden: Strahlungsvermögen von Kienruß = 100, Bleiweiß = 100, Hauſenblaſe = 91, Tuſch = 85, Gummilack = 72, Metall = 12. Wenn man die Seitenflächen eines hohlen Würfels aus Metall mit verſchiedenen Subſtanzen überzieht, z. B. eine mit Kienruß ſchwärzt, die andere mit Glas deckt, die dritte fein polirt und die vierte ritzt, und dieſen Würfel, nachdem er mit warmem Waſſer gefüllt iſt, einem metallenen Hohlſpiegel gegenüber ſtellt, in deſſen Focus ſich ein Thermometer befindet; ſo ſieht man dieſes auf verſchiedene Grade ſteigen, je nachdem die eine oder die andere Seite des Würfels dem Spiegel zugekehrt iſt. Man erfährt ſomit den Einfluß der Oberfläche auf das Strahlungsvermögen. Dieſen Verſuch hat zuerſt Leslie angeſtellt. (Pogg. Ann. 35. 572.)

417. Man kann füglich annehmen, daß Körper bei jeder Temperatur Wärme ausſtrahlen. In einem Syſteme von Körpern erhält demnach jeder von dem andern Wärmeſtrahlen und ſendet jedem von ſeinem eigenen Vorrathe zu, und ein Steigen der Temperatur eines Theiles dieſes Syſtems muß davon herrühren, daß dieſer Theil mehr ihm zugeſendete Wärme abſorbirt, als er ausſtrahlt, ein Erkalten vom Gegentheile. Gleichgewicht der Temperatur iſt demnach der Zuſtand, wo jeder Körper eben ſo viel Wärme empfängt, als er abgibt, und ſomit von dem, was man ſonſt ſo nennt, weſentlich verſchieden. Es heißt darum auch bewegliches Gleichgewicht. Auf dieſem beruht die ſcheinbare Reflexion der Kälte durch zwei einander zugekehrte Hohlſpiegel.

418. Man ſchreibt jedem Körper nebſt dem Emiſſionsvermögen auch ein Abſorptionsvermögen zu, d. h. man nimmt an, daß er Strahlen, die ihn treffen, mehr oder weniger zu abſorbiren im Stande ſey. Zum Unterſchiede von dem Vermögen der Körper, auch die ſchon eingedrungenen Strahlen zu abſorbiren, kann man dieſes, welches ſich auf die Wirkung der Oberfläche bezieht, äußeres Abſorptionsvermögen nennen. Man meint allgemein, daß von den abſorbirten Wärmeſtrahlen die Temperaturerhöhung herrühre, die ein Körper erfährt, wenn er von ſolchen Strahlen getroffen wird, und ſomit beweiſen alle Verſuche, die man mit ſtrahlender Wärme auf die vorerwähnten Weiſen anſtellt, das Daſeyn der Abſorption. Da eine ſtabile Temperatur nur möglich iſt, wenn ein Körper eben ſo viele von anderen kommende Wärmeſtrahlen abſorbirt, als er ausſendet; ſo folgt daraus von ſelbſt, daß das Abſorptionsvermögen mit dem Emiſſionsvermögen im verkehrten Verhältniſſe ſtehe und daß alles, was erſteres erhöht, in gleichem Grade letzteres vermindert. Mehr über Abſorption wird ſpäter vorkommen.

419. Die Reflexion der Wärmeſtrahlen erfolgt im Allgemeinen nach denſelben Geſetzen, wie die des Lichtes. Iſt der Körper da, wo er von Wärmeſtrahlen getroffen wird, glatt und polirt, ſo erfolgt eine regelmäßige Reflexion, es bleibt der reflectirte Strahl in der Einfallsebene und der Reflexionswinkel iſt dem Einfallswinkel gleich. Man überzeugt ſich davon, wenn man eine polirte Metalltafel ſchief der Thermoſäule gegenüber ſtellt und in einiger Entfernung davon eine Wärmequelle ſo anbringt, daß, wenn ſie Licht ausſendete, die reflectirten Strahlen die Säule treffen würden. Da bemerkt man nämlich auch eine Einwirkung auf die Magnetnadel, und kann, wenn nach der Hand die Wärmequelle der Säule direct gegenüber geſtellt wird, mit Berückſichtigung der etwaigen Verſchiedenheiten in den Entfernungen, die Wirkungen der reflectirten Strahlen mit jenen der directen vergleichen und ſo das Verhältniß der reflectirten Strahlen zu den einfallenden ausmitteln oder die Größe des Reflexionsvermögens finden. Der Erfahrung zu Folge ſteht das Reflexionsvermögen mit dem äußeren Abſorptionsvermögen im verkehrten Verhältniſſe und jenes wächſt, wenn dieſes abnimmt und umgekehrt. Bei Körpern, die keine Wärmeſtrahlen durchlaſſen, muß auch offenbar die Summe der abſorbirten und reflectirten Strahlen jener der einfallenden gleich ſeyn. Körper dieſer Art, welche alle Strahlen abſorbiren, können darum keine reflectiren. Die von rauhen Flächen zurückgeworfenen Wärmeſtrahlen werden wie Lichtſtrahlen zerſtreut (diffundirt).

Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß man in dem Brennpuncte eines Hohlſpiegels, der ein großes Reflexionsvermögen beſitzt, wie dieſes bei getriebenen, gut polirten Metallſpiegeln der Fall zu ſeyn pflegt, die Strahlen eines heißen Körpers concentriren und daher mit einem ſolchen hohe Temperaturen hervorbringen könne. Werden zwei derlei Spiegel einander gegenüber geſtellt und wird in den Brennpunct des einen ein feſter Körper gebracht, ſo zeigt ſich im Brennpuncte des anderen eine bedeutende Erhitzung. Wird ein ſolcher Spiegel mit der ſpiegelnden Fläche gegen den Himmel gekehrt und im Brennpunct ein Thermometer angebracht; ſo zeigt ſich im Laufe der Nacht eine bedeutende Erkältung, wenn der Himmel heiter iſt, während bei bewölktem Himmel davon nichts bemerkt wird. Die Reflexion der Wärmeſtrahlen hat zuerſt Mariotte im Jahre 1686 nachgewieſen, den Verſuch mit zwei Spiegeln aber zuerſt Zahn in Wien angeſtellt.

420. Es iſt ſchon geſagt worden, daß es Körper gebe, welche Wärmeſtrahlen durchlaſſen und ſich demnach gegen dieſelben ſo verhalten, wie durchſichtige Stoffe gegen das Licht. Sie werden diathermane genannt, ſolche hingegen, welche die Wärmeſtrahlen aufhalten, athermane. Ob ein Körper zu den diathermanen gehöre oder nicht, ſo wie die Geſetze der Diathermanität, erfährt man leicht durch einen Verſuch mit der Thermoſäule. Bringt man dieſer gegenüber in einer beſtimmten Entfernung eine conſtante Wärmequelle an, welche ihre Strahlen auf eine Endfläche der Säule ſendet, während die andere Fläche gegen die Einwirkung ſtrahlender Wärme geſchützt iſt; ſo er-

fährt man aus der Ablenkung der Magnetnadel die Größe der Wärmeſtrahlung dieſer Wärmequelle. Bringt man hierauf zwiſchen dieſer und der Säule einen polirten Metallſchirm an, ſo kehrt die Magnetnadel ſchnell wieder in ihre natürliche Stellung zurück, zum Beweiſe, daß der Metallſchirm keine Wärmeſtrahlen durchlaſſe, mithin atherman ſey. Vertauſcht man aber dieſen Schirm mit einer Glas- oder Glimmerplatte, ſo wird alſogleich eine Ablenkung der Magnetnadel bemerklich, zum Beweiſe der Diathermanität der jetzt gebrauchten Platte. Aus dem Verhältniſſe der Ablenkung mit und ohne Schirm kann man das Verhältniß der von letzterem durchgelaſſenen zu den von der Wärmequelle ausgehenden Strahlen ermitteln. Ob ein Körper Wärmeſtrahlen durchlaſſe oder nicht, läßt ſich nicht etwa aus ſeiner Durchſichtigkeit oder Undurchſichtigkeit beurtheilen, indem dieſe beiden Eigenſchaften in keiner andern Relation ſtehen, als daß die Mehrzahl der durchſichtigen Stoffe auch diatherman iſt. Manche Körper, wie z. B. Steinſalz, Kalkſpath, Gips, Alaun, ſind faſt in gleichem Grade durchſichtig, aber ſehr verſchieden diatherman, das dunkelbraune Schwefelchlorid iſt diathermaner als die waſſerhelle Schwefelſäure, Olivenöhl diathermaner als Waſſer, ja ſchwarzes Glas iſt bei 1 L. Dicke nicht mehr durchſichtig, aber noch ſtark diatherman, und Kienruß gehört zu den ganz undurchſichtigen, aber auch zu den ſtark diathermanen Körpern. Der diathermanſte aller bekannten Körper iſt das Steinſalz. Ein aus grünen (mit Kupferoxyd gefärbten) Glasplatten zuſammengeſetzter, mit Waſſer gefüllter Behälter läßt nur Licht, aber gar keine Wärme durch, ein linſenförmiger Behälter dieſer Art, wirkt alſo im Brennpuncte ſelbſt bei der ſtärkſten Beleuchtung nicht wärmend.

421. Die Wärmeſtrahlen, welche in einen Körper eingedrungen ſind, erleiden in demſelben eine zweifache Modification, wovon ſich eine auf ihre Richtung, die andere auf ihre Stärke bezieht. Es werden nämlich Strahlen, die nicht ſenkrecht einfallen, von ihrer Richtung abgelenkt oder gebrochen und alle erleiden auf ihrem Wege eine Schwächung durch Abſorption. Dieſes iſt die früher beſprochene innere Abſorption.

422. Von der Brechung überzeugt man ſich, indem man vor einer Thermoſäule, und zwar außer ihrer Axe, eine Wärmequelle, z. B. eine heiße Metallplatte aufſtellt, die ihre Wärmeſtrahlen der Säule nicht direct zuſenden kann, und zwiſchen der Säule und der Wärmequelle ein dreiſeitiges Prisma von einem ſehr diathermanen Stoffe, z. B. von Steinſalz anbringt. Da findet man bald eine ſolche Stellung deſſelben, wo die Magnetnadel eine Ablenkung erfährt, zum Beweiſe, daß die Wärmeſtrahlen vom Prisma durch Brechung auf die Säule gebracht worden ſeyen. Im Allgemeinen werden Wärmeſtrahlen weniger durch Brechung abgelenkt, als Lichtſtrahlen. Erzeugt man mittelſt eines Steinſalzprisma's von Sonnenlicht ein Licht- und Wärmeſpectrum zugleich; ſo fallen dieſe nicht auf einander, ſondern das Wärmeſpectrum liegt mehr auf Seite des rothen Theils des Licht-

bildes. Die von heißeren Wärmequellen herkommenden Wärmeſtrahlen erfahren eine größere Ablenkung durch das Prisma als die von minder heißen Quellen ausgeſendeten. Aus dem Geſagten iſt klar, daß man mittelſt einer Sammellinſe aus Steinſalz ſelbſt dunkle Wärme im Focus concentriren könne, ja es läßt ſich ſogar zeigen, daß die Erhitzung im Focus einer den Sonnenſtrahlen ausgeſetzten Glaslinſe nicht von der Concentration der Lichtſtrahlen, ſondern nur von jener der Wärmeſtrahlen herrühre.

423. Die Größe der Abſorption, welche Wärmeſtrahlen auf ihrem Wege durch einen diathermanen Körper erleiden, hängt ab von der Natur des diathermanen Körpers, von der Größe des in demſelben zurückgelegten Weges, mithin von der Dicke des Stoffes und endlich von der Natur der Wärmequelle. Je dicker ein Körper iſt, deſto mehr Wärme abſorbirt er und deſto weniger läßt er durch; doch wächſt die Abſorption nicht ohne Ausnahme mit der Dicke des betreffenden Körpers, ſondern es nimmt wohl anfangs die Abſorption bei wachſender Dicke ſehr raſch zu, hat aber einmal die Dicke eine beſtimmte Größe erreicht, ſo hat eine fernere Vermehrung derſelben keinen merklichen Einfluß mehr auf die Abſorption und es hat den Anſchein, daß ſchon die erſten Schichten des diathermanen Stoffes alle abſorbirten Strahlen zurückgehalten haben. Daher kann es auch geſchehen, daß Wärmeſtrahlen, die bereits durch einen diathermanen Stoff gegangen ſind und in demſelben durch Abſorption geſchwächt worden, durch einen zweiten gehen können, ohne an Stärke zu verlieren.

424. Sehr merkwürdig iſt es, daß Wärmeſtrahlen, welche von verſchiedenen Wärmequellen kommen, von demſelben diathermanen Stoffe in verſchiedener Menge abſorbirt werden und daß auch das Geſetz der Abſorption bei wachſender Dicke des diathermanen Körpers bei Strahlen von verſchiedenen Wärmequellen verſchieden iſt, ferner daß Strahlen von einer Quelle ſchon von ſehr dünnen Körpern gänzlich abſorbirt werden, während die von einer andern Quelle dazu eine bedeutende Dicke desſelben Körpers fordern. Daraus kann man folgern, daß die Wärmeſtrahlen verſchiedener Quellen aus ſehr verſchieden abſorbirbaren Elementen beſtehen, ähnlich den Lichtſtrahlen, deren verſchiedene Beſchaffenheit ſich aber nicht bloß durch die verſchiedene Abſorbirbarkeit in demſelben Mittel, ſondern auch noch durch ihre Farbe unterſcheiden. Melloni nennt die von ihm entdeckte Eigenſchaft der Körper, gewiſſe Wärmeſtrahlen vorzugsweiſe zu abſorbiren, Diathermanſie; ſie iſt offenbar der Färbung in Bezug auf die Lichtſtrahlen analog. Man kennt bis jetzt nur einen Körper, der die Strahlen aller Wärmequellen gleich leicht durchläßt und der ſich zu dieſen Strahlen verhält, wie ein farbloſer Körper gegen das Licht. Dieſer iſt das Steinſalz.

Melloni hat mehrere Körper auf ihre Eigenſchaft, Wärmeſtrahlen durchzulaſſen, für vier verſchiedene Wärmequellen geprüft, nämlich für die Strahlen einer Locatelliſchen Lampe (A), einer glühenden Pla-

tinſpirale (B), eines geſchwärzten auf 400° erhitzten Kupferbleches (C) und eines geſchwärzten bis 100° erwärmten Meſſingbleches (D).

Die Reſultate ſeiner Verſuche ſtellt folgende Tabelle vor:

	A	B	C	D
Freie Strahlung der Wärmequelle .	100	100	100	100
Steinſalz	92	92	92	92
Flußſpath, klar und farblos	78	69	42	33
Kalkſpath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkryſtall	38	28	6	0
Gips, kryſtalliſirt	14	5	0	0
Citronenſäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes, 1 Mill. dickes Glas . .	26	25	12	0
Schwarzer, 0.9 Mill. dicker Glimmer	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Hieraus kann man die Belege für die vorher erwähntem Geſetze entnehmen. Da die von einer Wärmequelle kommenden Strahlen als heterogen zu betrachten ſind, deren einzelne Elemente nach verſchiedenen Geſetzen abſorbirt werden; ſo iſt leicht einzuſehen, daß für ſie das Abſorptionsgeſetz ſehr complicirt erſcheinen müſſe.

Es falle ein homogenes Strahlenbündel von der Intenſität I ſenkrecht auf einen diathermanen Körper von der Dicke m, und es gehe davon durch regelmäßige und zerſtreuende Reflexion der Antheil aI verloren. Da tritt nun der Theil $I\,(1-a)$ ins neue Mittel ein. Wird in jeder Schichte von der Dicke $= 1$ der Theil μ abſorbirt, ſo iſt der Strahl $I\,(1-a)$, nachdem er m Schichten zurückgelegt hat, durch Abſorption auf die Intenſität $I\,(1-a)\,(1-\mu)^m$ reducirt. Wird von dieſem beim Austritte aus dem betreffenden Mittel der Theil a' ins Innere zurückgeworfen, ſo iſt die Intenſität des das Mittel verlaſſenden Strahles $I\,(1-a)\,(1-a')\,(1-\mu)^m = A$. Wäre der Strahl beim erſten Eintritte nicht homogen geweſen, ſo würde man für jeden heterogenen Büſchel eine ſolche Gleichung erhalten, und in jeder hätte μ einen der Natur des Strahles entſprechenden Werth. Geht der aus dem Mittel austretende homogene Strahl in ein zweites von derſelben Natur, aber von der Dicke n, ſo hat er beim Austritte aus dieſem den Intenſitätswerth $A\,(1-a)\,(1-a')\,(1-\mu)^n = I\,(1-a)^2\,(1-a')^2\,(1-\mu)^{m+n}$. Auf ähnliche Weiſe erhält man für dieſen Strahl, wenn er w Platten von der Dicke m, n, p, q, aber von einerlei Natur durchfahren hat, den Ausdruck $I\,(1-a)^w\,(1-a')^w\,(1-\mu)^{m+n+p+q+\cdots}$. Ein vollkommen diathermanes Plättchen kann als unendlich dünn angeſehen werden; man hat $m = 0$ und daher $A = I\,(1-a)\,(1-a')$, oder wenn es beiderſeits von demſelben Mittel begrenzt iſt $A = I\,(1-a)^2$. Von der Art iſt ein in der Luft befindliches Steinſalzplättchen. Für ein ſolches zeigen Verſuche $A = 0.923$, wenn $I = 1$ geſetzt wird, woraus man findet $a = 0.0393$ oder nahe $^1/_{400}$. Demnach verliert man an einem ſolchen Plättchen durch Reflexion an den beiden Grenzflächen nahe $^1/_{400}$ der auffallenden Strahlen.

425. Es iſt ſchon vorher geſagt worden, daß auch athermane

Körper Wärmeſtrahlen abſorbiren. Man kann es ſchon vorhinein für wahrſcheinlich halten, daß ſie dieſes für verſchiedene Strahlen in verſchiedenem Maße thun. Die Erfahrung beſtätiget es. Bleiweiß abſorbirt von den Wärmeſtrahlen des glühenden Platins viel weniger Strahlen als von denen eines erhitzten Kupferbleches, Tuſch hingegen abſorbirt letztere Strahlen reichlicher als erſtere. Unter allen Körpern kennt man nur einen, der für die Strahlen aller Wärmequellen ein gleiches Abſorptionsvermögen beſitzt, nämlich den Kienruß; darum thut man auch gut, daß man die Kugeln der Thermoſkope mit Kienruß ſchwärzt. Dieſer Körper abſorbirt auch faſt alle auf ihn fallende Strahlen und verhält ſich demnach gegen die Wärmeſtrahlen wie ein ſchwarzer Körper gegen das Licht. Metalle hingegen abſorbiren alle Strahlen gleich gut, jedoch nur in geringem Maße, ſondern zerſtreuen die meiſten derſelben; ſie verhalten ſich demnach gegen die Wärme, wie weiße Körper gegen das Licht.

426. Die bisher beſprochenen Modificationen der ſtrahlenden Wärme beziehen ſich auf die Richtung und Intenſität der Wärmeſtrahlen; es gibt aber auch eine ſolche Modification derſelben, welche nicht bloß dieſe Beziehung hat, nämlich die **Polariſation**. Die Mittel, deren man ſich bedient, um Licht zu polariſiren, dienen auch zur Polariſirung der Wärmeſtrahlen. Dünne Glimmerblätter laſſen bekanntlich eine große Menge Wärme-Strahlen von jeder Gattung leicht durch, und man kann ſich ſolche Plättchen leicht durch Spalten dickerer Platten mittelſt Erhitzen über Kohlenfeuer verſchaffen. Eine Säule von 30 — 120 ſolcher Plättchen in der Lage angewendet, die ſie in ihrem natürlichen Zuſammenhange haben, läßt die mittelſt einer Steinſalzlinſe parallel gemachten Strahlen einer Wärmequelle kaum mehr durch, wenn ſolche ſenkrecht auffallen; ſo wie man aber die Strahlen ſchief auffallen läßt, wird alſogleich ein Theil derſelben durchgelaſſen. Dieſer Theil wächſt mit der Größe des Neigungswinkels bis zu einer gewiſſen Grenze, wo er ein Maximum erreicht. Bei einer Säule aus 120 ſehr dünnen Plättchen tritt dieſes Maximum bei einem Einfallswinkel von $33^1/_2{}^0$, alſo beim Winkel der vollkommenen Polariſation des Lichtes ein. Bei einer größeren Anzahl Plättchen iſt die Menge der im Maximo durchgelaſſenen Strahlen geringer und erfolgt auch bei einem kleineren Einfallswinkel. Dieſe Erfahrung beweiſet, daß die Wärmeſtrahlen in den erſteren Plättchen der Glimmerſäule durch Brechung die Eigenſchaft erlangt haben, die folgenden ohne Schwächung zu durchdringen, mithin durch Brechung polariſirt worden ſeyen. Nimmt man zwei gleiche Glimmerſäulen aus dünnen Plättchen, läßt durch die erſte etwa unter 45° Wärmeſtrahlen gehen und fängt die austretenden mit der zweiten unter demſelben Winkel auf; ſo geſtattet ſie den Wärmeſtrahlen den Durchgang, wenn die Einfallsebenen in beiden Säulen mit einander parallel gehalten werden; ſo wie man aber dieſen Parallelismus aufhebt, vermindert ſich die Menge der durchgelaſſenen Wärme, und ſinkt auf das Minimum herab, wenn beide Einfallsebenen auf einander ſenkrecht ſtehen. Statt

die Strahlen durch die erſte Glimmerſäule zu leiten, kann man ſie auch von einer ſolchen unter dem Polariſationswinkel reflectiren laſſen, und man wird ſehen, daß die von der zweiten Säule durchgelaſſenen Strahlen ihr Maximum erreichen, wenn beide Einfallsebenen auf einander ſenkrecht ſtehen, hingegen das Minimum, wenn jene Ebenen einander parallel ſind. Es wird demnach die Wärme durch Brechung und durch Reflexion polariſirt. Wird zwiſchen die zwei Glimmerſäulen, während die Einfallsebenen in beiden einander parallel ſind, ein dünnes Gips- oder Glimmerplättchen ſo geſtellt, daß es die die erſte Säule verlaſſenden Wärmeſtrahlen ſenkrecht treffen; ſo bewirkt dieſes in der Intenſität der durch die zweite Säule gehenden Strahlen keine Aenderung, wenn der Hauptſchnitt des Plättchens mit der Einfallsebene der Strahlen in die Säulen parallel oder darauf ſenkrecht iſt; dreht man aber das Plättchen in ſeiner eigenen Ebene, ſo vermindert ſich die von der zweiten Säule durchgelaſſene Wärme, und erreicht ein Minimum, wenn der Hauptſchnitt des Plättchens um 45° gegen jene Einfallsebene geneigt iſt. Es wird demnach die Wärme auch durch Doppelbrechung polariſirt. Ein rhombiſches Prisma aus Steinſalz, ähnlich dem in 333 beſprochenen Glasprisma, kann einen polariſirten Wärmeſtrahl durch doppelte Reflexion auch circular polariſiren. Man hat ſogar eine Drehung der Polariſationsebene eines Wärmeſtrahles durch eine ſenkrecht auf die Kryſtallaxe geſchnittene Bergkryſtallplatte bemerkt, und hier ſogar den Gegenſatz beobachtet, der ſich bei ſogenannten rechten und bei linken Kryſtallen dieſer Art in optiſcher Beziehung kund zu geben pflegt.

427. Alles bisher über ſtrahlende Wärme Dargeſtellte zeigt, daß ſich mit Ausnahme der Beugung und Interferenz alle Modificationen, welche das Licht erleidet, auch bei der Wärme wahrnehmen laſſen, ja es ſind ſogar für mehrere dieſer Modificationen die thermiſchen Geſetze den optiſchen völlig gleich, wie jene der geradlinigen Fortpflanzung, der Reflexion, Brechung, Abſorption und Polariſation. Was beim Lichte die verſchiedenfarbigen Strahlen ſind, das ſtellen bei der Wärme die heterogenen Strahlen vor, die ſich durch Abſorbirbarkeit von einander unterſcheiden; diathermane Körper entſprechen den diaphanen, athermane den undurchſichtigen, farblos durchſichtige, wie Kryſtallglas, den diathermanen ohne Diathermanſie, wie Steinſalz; farblos undurchſichtige, wie Kreide, den für alle Strahlen athermanen, wie Kienruß; farbig durchſichtige, wie rothes Glas, ſolchen, welche nur gewiſſe Strahlen durchlaſſen, wie Alaun. Bei aller dieſer Uebereinſtimmung behaupten die Wärmeſtrahlen doch eine gewiſſe Selbſtſtändigkeit, und man kann deßungeachtet Wärme und Licht noch nicht für identiſch halten. Ueber ſtrahlende Wärme ſiehe: Biot in Pogg. Ann. 38. 1; 39. 250, 436, 544. Melloni ebend. 39. 1; 45. 57; 48. 326; 49. 577, 585; 51. 73; 52. 421′, 573; 53. 47, 268. 59. 169. Forbes ebend. 45. 64, 442; 51. 88, 387.

Zweites Kapitel.

Bewegungsgeſetze der geleiteten Wärme.

428. Ein Körper, der Wärmeſtrahlen abſorbirt, erfährt eine Erhöhung ſeiner Temperatur, welche der Menge der abſorbirten Wärmeſtrahlen direct und ſeiner Maſſe und Capacität verkehrt proportionirt iſt. Die Erwärmung pflanzt ſich von der Stelle, wo die Abſorption Statt findet, nach allen Richtungen in der betreffenden Maſſe fort, indem jedes wärmere Theilchen ſeinem benachbarten minder warmen Wärme mittheilt und dadurch ſelbſt eine Temperaturverminderung erfährt. Da, wo ein ſolches Theilchen an einen leeren Raum oder an einen diathermanen Körper grenzt, ſendet es ſelbſt wieder Wärmeſtrahlen aus und wird dadurch erkältet; eben ſo gibt es an ein materielles Mittel von geringerer Temperatur unmittelbar Wärme ab. Zuletzt tritt Gleichgewicht der Temperatur ein, und zwar dann, wenn für jedes Theilchen Wärmeempfang und Wärmeabgabe gleich ſind. Es herrſcht alſo auch hier eine Art bewegliches Gleichgewicht. Der Ab- und Zufluß der Wärme erfolgt nach eigenen Geſetzen, deren gründliche Erörterung aber Kenntniſſe der höheren Analyſis vorausſetzt und darum hier nicht geſucht werden darf.

429. Die Frage über die Fortpflanzung der Wärme in einem feſten Körper ſchließt als das wichtigſte Element zu ihrer Beantwortung folgende in ſich: Wie viel Wärme geht durch einen Querſchnitt $= 1$ dieſes Körpers nach einer beſtimmten Richtung in einer Zeiteinheit? Daß dieſe Wärmemenge von der zunächſt an beiden Seiten des fraglichen Querſchnittes herrſchenden Temperatur abhänge, iſt für ſich klar, und die einfachſte Vorausſetzung iſt offenbar, daß ſie der Temperaturdifferenz der beſagten Stellen proportional ſey. In dieſer Vorausſetzung ſind auch in der That alle Rechnungen über die Bewegung der Wärme in feſten Körpern gemacht, und da deren Reſultate von der Erfahrung beſtätiget werden; ſo iſt an der Zuläſſigkeit derſelben wenigſtens für ſo kleine Temperaturdifferenzen, wie ſie an einander ſo nahe gelegenen Stellen vorkommen können, nicht zu zweifeln. Die Folge wird lehren, daß für größere Differenzen eine ſolche Vorausſetzung nicht mehr der Wahrheit gemäß wäre. Nebſt der Wärmedifferenz dieſſeits und jenſeits des fraglichen Querſchnittes hat auch die Natur der Körper ſelbſt auf die Wärmemenge, welche durch dieſen Querſchnitt in einer beſtimmten Zeit geht, Einfluß. Man heißt die Fähigkeit eines Körpers, der Wärme in ſeinem Innern die Fortpflanzung mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit zu geſtatten, ſeine Wärmeleitungsfähigkeit, und nennt jene Körper, in welchen dieſe Geſchwindigkeit relativ groß iſt, gute, jene, in welchen ſie gering iſt, ſchlechte Wärmeleiter. Einen Körper, der für die Wärme ganz undurchdringlich wäre, der alſo ein Nichtleiter genannt werden könnte, gibt es nicht. Alles dieſes zuſammen genommen zeigt, daß die Wärmemenge q, welche durch den Querſchnitt a eines Kör-

pers von der Leitungsfähigkeit k, deſſen Theile an der einen Seite des Querſchnittes die Temperatur t, an der andern die Temperatur t' haben, in der Zeit δ geht, ausgedrückt werde durch

$$q = k\,a\,(t - t')\,\delta.$$

430. Als Beiſpiel des Verlaufes der Sache bei der Fortpflanzung der Wärme in einem feſten Körper diene der Fall, wo der zu unterſuchende Körper die Geſtalt eines dünnen, langen Prisma's mit quadratförmigem Querſchnitte hat. Wird ein ſolcher Stab an einem Ende einer conſtanten Wärmequelle, z. B. der Wirkung einer guten Lampe, ausgeſetzt, ſo geht die Wärme von dieſem Ende gegen das andere mit einer der Leitungsfähigkeit des Stabes angemeſſenen Geſchwindigkeit, indem jedes Theilchen ſeinem Nachbar nach Maßgabe der beiderſeitigen Temperaturdifferenz Wärme abtritt. Zu gleicher Zeit ſenden die am äußeren Umfange liegenden Theile Wärmeſtrahlen aus und geben auch an die Luft unmittelbar Wärme ab, und dieſer Verluſt wird von den mehr nach innen gelegenen wieder erſetzt. Wenn endlich jedes Theilchen von den wärmeren eben ſo viel Wärme bekommt, als es an die kälteren oder an die Umgebung abgibt, ſo iſt die Temperatur des ganzen ſtationär und ändert ſich ungeachtet der fortdauernden Wirkung der Wärmequelle nicht mehr. Die Vertheilung der Wärme in dieſem Zuſtande kann man nun ſowohl auf dem Wege des Verſuches, als durch Rechnung beſtimmen. Zum Behufe des Verſuches überzieht man die Stange mit einer dicken Lage Kienruß, um ihre Wärmeſtrahlung gering und von der Natur des Stoffes unabhängig zu machen, bringt dann an mehreren, von einander gleich weit abſtehenden Stellen, ſenkrecht auf die Axe des Prisma's, Vertiefungen an, welche etwas über die Axe ins Innere hineinreichen. Wird nun die Stange in horizontale Lage gebracht, in jede Vertiefung die Kugel eines empfindlichen Thermometers geſtellt, der Zwiſchenraum mit Queckſilber ausgefüllt und dann ein Ende dem Einfluſſe der Wärmequelle ausgeſetzt und abgewartet bis alle Thermometer ſtationär geworden ſind; ſo gibt der Ueberſchuß der Temperatur jedes einzelnen über die des Verſuchslocales die nöthigen Daten zur Löſung der Aufgabe. Die mathematiſche Behandlung dieſer Aufgabe führt zu dem Ausdrucke:

$$y = A \,.\, 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}} + B \,.\, 10^{\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}},$$

wo y der Temperaturüberſchuß der Stelle iſt, deren Entfernung vom heißeſten Ende x heißt, m der Modul der gewöhnlichen Logarithmen = 2.302585, k die Leitungsfähigkeit der Stange, h eine von dem Strahlungsvermögen derſelben, A und B conſtante von der Temperatur der Wärmequelle abhängige Größen bedeuten. Iſt die Stange ſo lang, daß ihr äußerſtes Ende nicht mehr von der Wärmequelle afficirt wird, ſo hat man $y = A \,.\, 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, eine Gleichung, die mehrerer ſehr wichtiger Anwendungen fähig iſt.

Dieſe Gleichung kann dazu gebraucht werden, die Temperatur einer Wärmequelle zu beſtimmen. Es iſt nämlich für $x = 0$, $y = A$ mithin A der Temperaturüberſchuß der Wärmequelle über die Temperatur des Verſuchslocales und da letztere bekannt iſt, ſo braucht man nur mehr A zu beſtimmen, um die Aufgabe löſen zu können. Nun hat man aber für die Stelle x den Ausdruck $\log y = \log A - \frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}$, für die Stelle x' den Ausdruck $\log y' = \log A - \frac{x'}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}$ und aus beiden $\frac{1}{m}\sqrt{\frac{h}{k}} = \frac{\log y - \log y'}{x' - x}$; dieſes in erſtere Gleichung ſubſtituirt gibt $\log A = \frac{x' \log y - x \log y'}{x' - x}$.

431. Aus allem dieſem ſieht man, daß bei Behandlung der Frage über die Fortpflanzung der Wärme im Inneren der Körper die Leitungsfähigkeit eine große Rolle ſpiele und wie nöthig es ſey, ſie nummeriſch zu beſtimmen. Zu dieſem Ende muß man ſich gegenwärtig halten, daß ſie ausgedrückt werde durch die Wärmemenge, welche in einer Zeiteinheit durch einen Querſchnitt $= 1$ geht, während die Temperaturdifferenz zunächſt an dieſem diesſeits und jenſeits deſſelben $= 1$ iſt. Die Beſtimmung dieſer Größe iſt verſchieden, je nachdem der Körper, um den es ſich handelt, ein guter oder ſchlechter Leiter iſt. Ob nun erſteres oder letzteres der Fall ſey, kann nur durch Verſuche ausgemittelt werden. Am einfachſten, jedoch nur annäherungsweiſe und ohne nummeriſche Beſtimmung kommt man zum Ziele durch das Befühlen des betreffenden Stoffes; da fühlt ſich ein guter Leiter, wenn er wärmer iſt als die Hand, wärmer, wenn er kälter iſt als dieſe, kälter an als ein minder guter, aus dem Grunde, weil erſterer der Hand in derſelben Zeit mehr Wärme gibt oder nimmt als letzterer. Zur genaueren Beſtimmung der Leitungsfähigkeit eines guten Leiters gibt man ihm die Geſtalt eines langen, dünnen Prisma's mit quadratförmiger Baſis, und unterwirft ihn dem Verſuche, von welchem eben die Rede war. Da hat man im Zuſtande der ſtationären Temperatur für den Temperaturüberſchuß y der Stelle, deren Abſtand vom heißeſten Ende x heißt, die Gleichung $y = A \, . \, 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, für den Temperaturüberſchuß y' einer andern, deren Abſtand von demſelben Ende x' iſt, den Ausdruck $y' = A \, . \, 10^{-\frac{x'}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, und aus beiden

$$\log \frac{y}{y'} = \frac{1}{m}(x - x')\sqrt{\frac{h}{k}}.$$

Daraus iſt nun

$$k = \frac{\frac{h}{m^2}(x - x')^2}{(\log y - \log y')^2}$$

und weil h, m, x — x′ conſtante Größen ſind, ſo iſt auch der Zähler dieſes Bruches eine ſolche. Bezeichnet man ſie mit C, ſo erhält man $k = \frac{C}{(log\ y - log\ y')^2}$. Hat man demnach für verſchiedene Körper y und y′ beſtimmt, ſo iſt dadurch das Verhältniß der ihnen entſprechenden Werthe von k gegeben. Iſt der zu unterſuchende Körper kein ſo guter Leiter, daß man annehmen kann, alle Puncte eines und deſſelben Querſchnittes haben dieſelbe Temperatur, ſo paßt für ihn die vorſtehende Gleichung nicht, und man muß zur Ausmittlung ſeiner Leitungsfähigkeit eine andere Verſuchsmethode wählen. Zur Ausführung dieſer dient ein eigens eingerichtetes Thermometer, das Fourier, der Erfinder deſſelben, Contact-Thermometer nennt. Es beſteht aus einem gewöhnlichen, ſehr empfindlichen Queckſilber-Thermometer, deſſen Kugel in einem kegelförmigen, aus dünnem Eiſenblech verfertigten Gefäße ſteht. Der Boden dieſes Gefäßes beſteht aus weichem Leder, und der vom Thermometer übrig gelaſſene Raum iſt mit Queckſilber ausgefüllt. Zur Anwendung dieſes Inſtrumentes braucht man noch eine ebene plattenförmige Unterlage von Metall oder Marmor. Der Körper, deſſen Leitungsfähigkeit mit dieſem Inſtrumente unterſucht werden ſoll, muß die Form einer dünnen Platte haben. Beim Gebrauche wird der zu unterſuchende Körper auf die Unterlage gelegt, das Thermometer auf 46 — 47° C. erhitzt, und in dem Momente, wo es auf 45° herabgeſunken iſt, auf den betreffenden Körper geſtellt und die Zeit beobachtet, in welcher es auf beſtimmte Grade herabgeſunken iſt. Die Gleichung $\varepsilon = \frac{1}{\vartheta}[log(t - t') - log(t' - t'')]$ gibt dann die der Leitungsfähigkeit nahe proportionirte Größe ε, wenn der Zeitabſchnitt ϑ, in welchem die Temperatur des Thermometers von t auf t′ und von t′ auf t″ herabſinkt, nebſt dieſen Temperaturen bekannt iſt. (Despretz in Pogg. Ann. 12. 281; Fourier ebend. 13. 327.) Auf dieſe Weiſe erhält man das nummeriſche Verhältniß der Leitungsfähigkeiten. Häufig braucht man aber nur zu wiſſen, welcher von den fraglichen Körpern ein beſſerer, welcher ein ſchlechterer Leiter ſey. Dahin gelangt man durch viel einfachere Mittel. Franklin und Inghenhouß haben zu dieſem Zwecke eine eigene Verſuchsweiſe ausgeſonnen. Sie gaben den zu unterſuchenden Körpern die Geſtalt gleich dicker Drähte, befeſtigten ſie an einem Querholze wie die Zähne eines Kammes, überzogen ſie mit einer Schichte Wachs und tauchten ſie alle gleich tief in heißes Oehl. Da ſchmolz das Wachs am beſſeren Leiter weiter weg, als am ſchlechteren.

432. Durch Verſuche der vorerwähnten Art hat man ſich überzeugt, daß die Leitungsfähigkeit für die Wärme für verſchiedene Körper verſchieden iſt, daß Metalle und Steine durchaus zu den guten, Metalloxyde und glasartige Stoffe hingegen, ſo wie Kohle, gepulverte Körper, Aſche ꝛc. zu den ſchlechten Leitern gehören. Faſerige Stoffe, wie Spitzen, Gewebe, Wolle, Seide ſind in der Regel ſchlechte

Leiter, jedoch ſenkrecht auf die Richtung der Faſern ſchlechtere noch als nach der Länge derſelben. Temperaturerhöhung ſcheint die Leitungsfähigkeit herabzuſetzen, vielleicht weil ſie die Poren vergrößert und die Continuität ſtellenweiſe aufhebt.

Nach Despretz kommt den nachſtehenden Körpern die Leitungsfähigkeit zu, welche die beigeſetzten Zahlen ausdrücken. Gold 1000, Silber 973, Platin 981, Kupfer 898.2, Eiſen 374.3, Zink 363, Zinn 303.9, Blei 179.6, Marmor 23.6, Porzellan 12.2, Töpfererde 11.4 Nach Forbes ſteht das Platin zwiſchen Eiſen und Zinn, Antimon und Wismuth nach Blei. Aus der verſchiedenen Leitungsfähigkeit der Körper erklärt man ſich das Warmhalten unſerer Kleider, warum Bäume durch Umwinden mit Stroh, und Saaten durch eine Schneedecke vor Froſt geſchützt werden, warum hölzerne Stuben wärmer ſind als gemauerte, warum man metallene Gefäße mit hölzernen Handgriffen verſieht, warum man auf hölzernem Boden wärmer ſteht, als auf ſteinernem, warum Reiter im Winter die Steigbügel mit Tuch oder Stroh umwickeln, warum man bei ſtarker Kälte wohl Holz, aber nicht Eiſen mit der Zunge ungeſtraft berühren kann. Hierauf beruht auch die zweckmäßige Einrichtung unſerer Oefen und Kochgefäße nach Rumford's Angabe. (Deſſen ſchöne Verſuche in Gilb. Ann. 4., und in ſeinen kleinen Schriften. Weimar, 1805. Larive und Decandolle in Zeitſchr. 5. 330, und Pogg. Ann. 14. 590. Despretz in Pogg. Ann. 46. 484.)

433. In flüſſigen Körpern hängt die Fortpflanzung der Wärme, wenigſtens in dem Falle, wo die Erwärmung von unten Statt findet, nicht allein von der Leitungsfähigkeit und Temperaturdifferenz, ſondern auch von der Beweglichkeit der kleinſten Theile der Flüſſigkeit ab; denn die wärmeren Theile ſteigen in der kälteren Maſſe in die Höhe und übertragen die Wärme von unten nach oben. Man kann die dadurch erzeugten Ströme in tropfbaren Flüſſigkeiten durch beigemengte Pulver von gleichem ſpecifiſchen Gewichte mit der Flüſſigkeit, in der Luft aber durch Körper ſichtbar machen, welche durch den aufſteigenden Strom in Bewegung geſetzt werden, wie z. B. durch papierene Windmühlflügel. Im Freien beweiſet das Zittern von Objecten, die ihr Licht durch von unten erwärmte Luft ins Auge ſenden, das Daſeyn aufſteigender Ströme. Werden Flüſſigkeiten von oben erwärmt, ſo kann ſich die Wärme nur vermöge ihrer Leitungsfähigkeit fortpflanzen, und in dieſem Falle erſcheinen alle als ſchlechte Wärmeleiter, pflanzen aber die Wärme nach demſelben Geſetze fort, welches für Metallſtäbe früher nachgewieſen worden iſt. (Despretz in Pogg. Ann. 46. 340.)

In dem Geſagten findet die langſame Erwärmung hoher Zimmer, die große Ungleichheit ihrer Temperatur am Fußboden und an der Decke, ihre Erklärung; auch begreift man daraus, warum eine Flüſſigkeit auf einem Sparherde leichter zum Sieden gebracht wird, als an einem offenen Herdfeuer; warum man in Badhäuſern das warme Waſſer unter das kalte leitet, warum bei Deſtillationen das Kühlwaſſer immer von oben ab- und von unten zugeleitet werden muß ꝛc. Hierauf beruht auch die Einrichtung der ſogenannten Luftheizung, mit deren Vervollkommnung ſich beſonders Meißner befaßt hat. Nach dieſer

Methode kann die Luft in einem Gemache auf eine zweifache Art erwärmt werden. Man kann den Ofen in ein abgeſondertes, kleines, geſchloſſenes Gemach (Heizkammer) ſtellen, und die daſelbſt befindliche, ſtark erwärmte Luft in die zu beheizenden Zimmer, deren Anzahl ſich oft auf drei oder vier beläuft, durch eine etwa 4 — 5 Fuß über dem Fußboden angebrachte Oeffnung leiten, die kalte Luft aber durch einen ähnlichen Canal, der ſich in der Nähe des Fußbodens befindet, dahin zurückführen. Man erſpart dabei den Raum für den Ofen, entgeht der oft ſo läſtigen ſtrahlenden Wärme, kann die Temperatur der Zimmer durch Schließen und Oeffnen der Luftlöcher nach Belieben reguliren und ſoll auch Brennmateriale erſparen. Das zweite Verfahren beſteht darin, daß man den Ofen mit einem thönernen oder auch metallenen Schirm umgibt, welcher etwa 6 Zoll vom Ofen abſteht, oder ein offenes Rohr durch ſein Inneres zieht. So wie die Luft in dem Zwiſchenraume oder in dem Rohre erwärmt iſt, ſteigt ſie in die Höhe, die kältere folgt von unten nach, und man kann ſo mit einem einzigen Ofen ein ſehr großes Gemach ziemlich gleichförmig erwärmen. (Heizung mit erwärmter Luft, von P. T. Meißner. Wien, 1827.)

434. Zu den Bewegungsgeſetzen der Wärme gehören auch jene, die man bei Verſuchen über die Abkühlung warmer Körper in kälteren Mitteln ermittelt hat. Solche Verſuche haben Mehrere angeſtellt, darunter müſſen aber die Verſuche von Rumford und vorzüglich jene von Dulong und Petit beſonders hervorgehoben werden. Rumford hat nicht unterſchieden, ob der Körper die abgegebene Wärme durch Strahlung oder durch Mittheilung an die Luft verloren habe. Er brachte den fraglichen Körper in ein großes Zimmer von bekannter und beſtändiger Temperatur, beſtimmte an einem damit in Verbindung ſtehenden Thermometer die Temperatur nach gewiſſen Zwiſchenzeiten und nahm daraus das Geſetz der Erkaltung ab. Bei Dulong's und Petit's Verſuchen wurden aber ſowohl die Geſetze des Wärmeverluſtes durch Strahlung, als auch die des Verluſtes durch Mittheilung beſonders beſtimmt, zugleich aber wurde auch durch vorläufige Verſuche ausgemittelt, daß eine Flüſſigkeit, wie z. B. Queckſilber, in einem Gefäße von einerlei Subſtanz eingeſchloſſen, das Grundgeſetz der Erkaltung in ſeiner vollen Reinheit und Einfachheit darſtelle, ohne durch eine mäßige Veränderung der Größe (man nahm Kugeln von 2 — 7 Centimeter Durchmeſſer), oder der Geſtalt des Gefäßes (es wurde mit Kugeln und Cylindern experimentirt) geſtört zu werden, und man daher die Geſetze der Erkaltung ſolcher Körper als den Ausdruck der Erkaltung der Molecüle betrachten könne. Bei dem eigentlichen Verſuche wurde ein Queckſilber-Thermometer bis zu einer beſtimmten Temperatur erwärmt und hierauf ſchnell in einen Ballon von Kupfer gegeben, der zur Vermeidung aller Einwirkung durch Strahlung innerlich mit Lampenruß geſchwärzt war und ſich in einem Waſſerbade von bekannter Temperatur befand. Um die Geſetze der Erkaltung durch Strahlung zu erfahren, wurde im Ballon die Luft möglichſt verdünnt und ſelbſt der Reſt derſelben in Rechnung gebracht, das erwähnte Thermometer hineingeſetzt, ſo daß ſeine Kugel des Ballons Mittelpunct einnahm, und endlich der Stand des Thermometers

nach gleichen Zwiſchenzeiten beobachtet. Der Quotient aus der Temperaturänderung und der dazu verwendeten Zeit gab die Abkühlungsſchwindigkeit an. Auf gleiche Weiſe wurde verfahren, um die Erkaltung durch Mittheilung auszumitteln, nur mit dem Unterſchiede, daß der Ballon mit irgend einer trockenen Luftart gefüllt war und daß man von der geſammten Erkaltung nach der Hand die durch Strahlung bewirkte abzog. Mittelſt ſolcher Verſuche fand man folgende Reſultate: 1) Nicht alle Körper erkalten gleich ſchnell, ſelbſt wenn ſie eine gleiche Form, Größe und Oberfläche haben. 2) Die Erkaltung in der Luft geht deſto ſchneller vor ſich, je größer der Temperaturunterſchied zwiſchen dem erkaltenden Körper und ſeinem Mittel iſt; doch ſtehen die Erkaltungsgeſchwindigkeiten nicht, wie Newton meinte, im geraden Verhältniſſe mit den Temperaturunterſchieden, nähern ſich aber dieſem Verhältniſſe deſto mehr, je geringer der genannte Unterſchied iſt. 3) Im leeren Raume von beſtändiger Temperatur läßt ſich die Erkaltungsgeſchwindigkeit durch die Formel $M(a^t - 1)$ ausdrücken, wo t die Temperaturdifferenz zwiſchen dem Erkaltungsorte und dem erkaltenden Körper, M und a beſtändige Größen ſind, von denen $a = 1.0077$ iſt. Die Erkaltungsgeſchwindigkeit nimmt daher ab, wie die Glieder einer geometriſchen Progreſſion, vermindert um eine beſtändige Größe, während die Temperaturüberſchüſſe eine arithmetiſche Reihe darſtellen. 4) Die Erkaltung, welche ein Gas für ſich, abgeſehen von der Ausſtrahlung, bewirkt, iſt völlig unabhängig von der Beſchaffenheit der Oberfläche der Körper und hängt bloß von der Temperaturdifferenz zwiſchen dem Gaſe und dem erkaltenden Körper und von der Spannkraft des Gaſes ab. Die Erkaltungsgeſchwindigkeit unter dieſen Umſtänden läßt ſich durch die Formel $m t^b$ ausdrücken, in welcher t die Temperaturdifferenz bedeutet, $b = 1.233$ iſt und m eine Größe bezeichnet, welche von der Natur des Gaſes und den Dimenſionen des erkaltenden Körpers abhängt; dieſe Geſchwindigkeit ändert ſich daher in einer geometriſchen Proportion, wenn auch die Temperaturüberſchüſſe des erkaltenden Körpers gegen das Mittel, worin die Erkaltung vor ſich geht, eine geometriſche Reihe bilden. Die geſammte Abkühlung, welche durch Ausſtrahlung und durch Mittheilung Statt findet, wird daher durch die Formel $M(a^t - 1) + m t^b$ ausgedrückt.

Drittes Kapitel.

Meſſung der Wärmequantitäten (Calorimetrie).

435. Schon im erſten Theile dieſes Werkes (S. 32) iſt geſagt worden, daß die Körper eine beſtimmte Capacität für die Wärme haben und man hat darauf den Begriff der ſpecifiſchen und relativen Wärme baſirt. Hier ſoll nun gezeigt werden, wie man den nummeriſchen Werth dieſer Größen beſtimmen könne.

436. Die Verſuchsmethoden, durch welche man die Wärmecapacität eines Körpers beſtimmt, ſind verſchieden, je nachdem man es mit feſten und tropfbaren oder mit ausdehnſamen Stoffen zu thun hat. Für feſte und tropfbare Körper iſt folgende die einfachſte. Man erhitzt den betreffenden Körper bis zu einem beſtimmten Grade, ſenkt ihn hierauf in eine beſtimmte Menge Waſſer oder in eine andere Flüſſigkeit von bekannter Temperatur, und beſtimmt die gemeinſchaftliche Temperatur des Gemenges ſobald das Gleichgewicht der Wärme hergeſtellt iſt. Es iſt klar, daß der Körper, deſſen Capacität auf dieſem Wege erforſcht werden ſoll, nicht in der Flüſſigkeit, worein man ihn taucht, auflöslich ſeyn und ſich nicht in Berührung mit derſelben erhitzen oder erkälten dürfe. Auch iſt nicht zu vergeſſen, daß dieſes Verfahren nur in ſoferne richtig iſt, als ſich die Capacität der Flüſſigkeit nicht mit der Temperatur ändert. Mit voller Sicherheit iſt dieſes nur bei Temperaturen der Fall, deren Differenz nicht gar groß iſt; darum darf auch zwiſchen der Temperatur des betreffenden Körpers und der Flüſſigkeit, worein man ihn taucht, keine große Differenz Statt finden. Um aber doch bei kleinen Temperaturunterſchieden mit größeren Wärmequantitäten zu thun zu haben, wählt man Körper von großen Maſſen. Ueberdieß muß man auf den Wärmeverluſt durch das Gefäß und die Abkühlung während der Zeit des Verſuches Rückſicht nehmen.

Es werde Waſſer von 0° C. mit einer gleich großen Maſſe Eiſenfeile von 36° vermengt und die Temperatur des Gemenges = 4° gefunden. Da bringt nun die Wärmemenge, welche die Temperatur des Eiſens um 36 — 4 = 32° erhöht, im Waſſer nur eine Temperaturerhöhung von 4° hervor, und Eiſen braucht daher achtmal weniger Wärme als Waſſer, um dieſelbe Temperaturerhöhung zu erfahren, oder ſeine Capacität iſt $\frac{1}{8}$ = 0.125. Wenn die Maſſen der zwei zu mengenden Körper ungleich ſind, wird man nicht ſo leicht durch bloßes Raiſonnement zum Ziele gelangen, ſondern man muß zu dieſem Ende eine eigene Rechnung führen. Hat der wärmere Körper die Maſſe M, die Capacität C, und vor dem Verſuche die Temperatur T, der kältere die Maſſe m, die Capacität c, und vor dem Verſuche die Temperatur t; iſt ferner die ſtationäre Temperatur des Gemenges nach dem Verſuche τ und die ſpecifiſche Wärme des Waſſers 1: ſo hat der erſtere die Wärmemenge $MC(T-\tau)$ verloren, der andere die Wärmemenge $mc(\tau-t)$ gewonnen, und es iſt

$$MC(T-\tau)=mc(\tau-t) \text{ oder } \frac{C}{c}=\frac{m(\tau-t)}{M(T-\tau)}.$$

Verſuche dieſer Art fordern mehrfache Vorſichten. Es iſt klar, daß der zu unterſuchende Körper einen Theil ſeiner Wärme dem Gefäße mittheilen werde, worin ſich die Flüſſigkeit befindet, ferner daß während der Zeit, wo die Ausgleichung der Temperaturen vor ſich geht, auch eine Abgabe der Wärme an die Luft Statt finden werde. Um dieſe Einflüße möglichſt unſchädlich zu machen, nimmt man ſo viel Waſſer, daß die Temperaturerhöhung nur 4—5° beträgt, und experimentirt nur mit Waſſer, deſſen Temperatur um ſo viele Grade unter jener der Luft ſteht, als es ſich beim Verſuch über die der Luft er-

wärmet. Man ſucht darum anfangs nur ein angenähertes Reſultat und verbeſſert es durch einen zweiten Verſuch.

437. Ein anderes Mittel, die Capacität zu beſtimmen, beruht darauf, daß ein warmer Körper bei übrigens gleichen Umſtänden deſto ſchneller bis zur Temperatur ſeines Mittels abkühlt, je kleiner ſeine Capacität iſt. Um durch dieſes Mittel zu einem richtigen Reſultate zu gelangen, muß man die Körper, um die es ſich handelt, mit gleicher Oberfläche verſehen, und zu dieſem Ende jeden derſelben in ein fein polirtes, metallenes Gehäuſe einſchließen, bis zu einem beſtimmten Grade erwärmen, ihn dann ſammt dem Gehäuſe im luftleeren Raume bis zu einem beſtimmten Grade abkühlen laſſen und die Zeit beſtimmen, die er dazu braucht. Dieſe Zeit ſteht im geraden Verhältniſſe mit ſeiner Capacität. Dieſes Verfahren hat J. T. Mayer kennen gelehrt, und Dulong und Petit haben es mit Vortheil angewendet; doch walten gegen deſſen anſtandloſe Anwendbarkeit mancherlei Bedenken ob und es gibt jedenfalls nur für Körper, welche die Wärme leicht abgeben, brauchbare Reſultate.

438. Ein drittes Mittel beruht auf der Beſtimmung der Eismenge, die ein Körper zu ſchmelzen vermag. Man braucht zu ſeiner practiſchen Ausführung ein eigenes Inſtrument, welches Laplace und Lavoiſier angegeben und Calorimeter genannt haben. Dieſes beſteht aus zwei Gefäßen (Fig. 377), wovon eines in dem anderen ſteckt. Das innere B dient zur Aufnahme des zu unterſuchenden Körpers A und des zu ſchmelzenden Eiſes, während das äußere C bloß zum Behälter desjenigen Eiſes beſtimmt iſt, das den erwärmenden Einfluß der äußeren Umgebung auf das innere Eis abhalten ſoll. Das innere Gefäß hat unten ein kleines Behältniß D, welches mit einem Hahne verſchloſſen und durch ein Sieb vom oberen Theile getrennt iſt; es dient zur Aufnahme des Waſſers, das aus dem inneren Eiſe entſteht. Beim Gebrauche wird zuerſt der Zwiſchenraum zwiſchen beiden Gefäßen mit klein zerſtoßenem Eiſe von 0° C. angefüllt, und auch das Innere faſt ganz damit verſehen. Hierauf kommt der Körper A hinein, und zwar, wenn er feſt iſt, in ein netzartiges Gefäß, wenn er tropfbar iſt, in eine eigens dazu beſtimmte Büchſe; der übrige Raum wird mit Eis erfüllt, der Deckel aufgeſetzt, auch mit Eis belegt, die Zeit abgewartet, bis A die Temperatur 0° C. hat, die vom inneren Eiſe entſtandene Waſſermenge genau beſtimmt und hieraus die Capacität von A berechnet. Iſt C die Capacität des Körpers, mit dem man den Verſuch anſtellt, T° ſeine anfängliche Temperatur und M ſeine Maſſe, die ſpecifiſche Wärme des Waſſers = 1; ſo iſt MTC ſeine Wärmemenge. Wird eine Eismaſſe = N von 0° C. geſchmolzen, ſo iſt die Zahl 75 N zugleich die dazu nöthig geweſene Wärmemenge, und man hat demnach

$$MTC = 75N \text{ und hieraus } C = \frac{75N}{MT}.$$

Iſt die zu unterſuchende Maſſe in einem Netze oder einer Büchſe enthalten, ſo muß man auch die Wärme, welche der Behälter an das Eis abgibt, in Rechnung bringen. Iſt m die Maſſe dieſes Gefäßes, t ſeine Temperatur, c ſeine Capacität, ferner N' die ganze von der Maſſe M ſammt dem Gefäße geſchmolzene Eismenge; ſo hat man offenbar

$$MCT + mct = 75\,N' \text{ und } C = \frac{75\,N' - mct}{MT}.$$

Man kann ſowohl dieſe Methode als die in 436 erwähnte dazu brauchen, die Temperatur des fraglichen Körpers zu beſtimmen, wenn C bekannt iſt.

439. Durch dieſe Mittel hat man folgende Geſetze der Capacitäten kennen gelernt: Verſchiedene feſte und tropfbare Körper haben auch verſchiedene Capacitäten. Mit der Aenderung der Dichte und Cohärenz ändert ſich auch die Capacität. Wenn die Dichte geringer wird, es mag dieſes durch Erhöhung der Temperatur oder durch irgend ein mechaniſches Mittel bewirket werden, ſteigt die Capacität, jedoch immer nur um einen kleinen Theil ihres anfänglichen Werthes. Wenn ein feſter Körper weich zu werden anfängt, erlangt ſeine Capacität einen höheren Werth. Darum ſollte man eigentlich die Wärmecapacität nur bei einer beſtimmten Dichte und Cohärenz ausdrücken, und jede Zunahme, welche die Verminderung der Dichte und Feſtigkeit begleitet, als Ausdehnungs- und Erweichungswärme beſonders betrachten. Da ſich die Art des Zuſammenhanges der Körpertheile oft plötzlich ſtark ändert, ſo iſt auch eine ſprungweiſe Veränderung der Wärmecapacität begreiflich.

Pouillet (Pogg. Ann. 39. 573) hat die Capacität des Platins für verſchiedene Temperaturen gefunden, wie folgt: bei 100° C. = 0.03350, bei 200° = 0.03392, bei 500° = 0.03518, bei 1000° = 0.03728, bei 1200° = 0.03812. Nach Regnault's, Larive's und Marcet's Verſuchen iſt die Capacität der Kohle deſto geringer, je dichter ſelbe iſt; erſterer fand die Capacität der Holzkohle = 0.24150, der Coak von Cannel-Kohle = 0.20307, des Graphits aus Gasröhren = 0.20360, des Diamants = 0.1687. Letzteren Gelehrten ergab ſich die Capacität der Terpentinöhlkohle 0.1801, der Zuckerkohle 0.1592. Regnault überzeugte ſich, daß gut geſchmiedetes Kupfer durchſchnittlich die Capacität 0.09478, daſſelbe aber gehämmert die Cap. 0.09346, hierauf aber wieder in der Rothglühhitze angelaſſen die Cap. 0.09486 habe. Blei und Zinn ändern durch Harthämmern nicht ihre Capacität, aber auch nicht ihre Dichte.

440. Eine ſehr merkwürdige Relation hat man zwiſchen dem Atomgewichte der Körper und ihrer ſpecifiſchen Wärme kennen gelernt. Dulong und Petit haben nämlich zuerſt nachgewieſen, daß ſich die ſpecifiſche Wärme der chemiſch einfachen Stoffe verkehrt wie ihre Atomgewichte verhalte und daß demnach das Product aus dem Atomgewichte in die ſpecifiſche Wärme eine conſtante Größe ſey. Neumann und neueſtens Regnault haben dieſes merkwürdige Geſetz noch mehr

erweitert. Man ſieht es faſt allgemein als erwieſen an, daß die ſpecifiſchen Gewichte aller zuſammengeſetzten Körper von gleicher atomiſtiſcher und ähnlicher chemiſcher Zuſammenſetzung im verkehrten Verhältniſſe ihrer Atomgewichte ſtehen, oder daß das Product aus ihrem Atomgewichte in ihre ſpecifiſche Wärme für alle ſolche Körper gleich ſey. Dieſes Product iſt offenbar die Wärmemenge, welche ein Atom braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° C. zu erfahren, und man kann demnach ſagen, die Atome aller chemiſch einfachen Stoffe für ſich, und die atomiſtiſch gleich und chemiſch ähnlich zuſammengeſetzten wieder für ſich, enthalten bei gleichen Temperaturen auch gleich viel Wärme. Uebrigens ſteht dieſem Geſetze noch der Umſtand im Wege, daß die Wärmecapacität eine veränderliche, das Atomgewicht eines Stoffes aber eine conſtante Größe ſey, und darum dürfte es wohl noch nicht an der Zeit ſeyn, dieſen Gegenſtand als völlig erlediget anzuſehen. Es hat vielmehr den Anſchein, als wäre dieſes nur ein Theil eines viel complicirteren Naturgeſetzes. Eine andere ſehr merkwürdige Relation hat Schröder nachgewieſen. Er zeigt, daß die ſpecifiſche Wärme eines zuſammengeſetzten Körpers die Summe der ſpecifiſchen Wärmen ſeiner Beſtandtheile in jenem Condenſationszuſtande ſey, in welchem ſie in dieſer Verbindung vorkommen.

Der Durchſchnittswerth aus dem Producte des Atomgewichtes in die ſpecifiſche Wärme iſt für chemiſch einfache Stoffe, die man im Zuſtande der größten Reinheit unterſuchen konnte, in runder Zahl 41, für Oxyde von der Zuſammenſetzung RO (wo R das Radicale, O den Sauerſtoff bezeichnet) = 72, von der Zuſammenſetzung $R_2O_2 = 170$, von der Zuſammenſetzung $RO_2 = 86$; für Schwefelmetalle $RS = 74$, für $R_2S_3 = 191$, für $RS_2 = 129$, für Chlormetalle $R_2Cl_2 = 159$, für $RCl_2 = 117$, für $RCl_4 = 233$; für ſalpeterſaure Salze $N_2O_5 + R_2O = 302$, für ſchwefelſaure $SO_3 + RO = 166$, für kohlenſaure $CO_2 + RO = 134$. Dieſe Zahlen drücken demnach auch die zur Erwärmung eines Atoms um 1° C. nöthige Wärme aus, jene für eine Waſſermaſſe vom Gewichte eines Sauerſtoffatoms nöthige = 1 geſetzt. Folgende Tafel enthält mehrere Capacitäten feſter Körper nach ihrem Zahlenwerthe, denen als Einheit die Capacität des Waſſers zum Grunde liegt.

Name.	Capacität.	Name.	Capacität.
Waſſer	1.0000	Blei	0.0314
Kohlenſt. (Diamant) .	0.1469	Wismuth	0.0308
Jod	0.0541	Antimon	0.0508
Schwefel	0.2026	Zinn v. Borneo . .	0.0562
Selen.	0.0837	Platin gewalzt . .	0.0324
Phosphor zwiſchen 0° – 38°	0.1887	Gold	0.0324
		Queckſilber	0.0333
Eiſen	0.1138	Kupferoxyd	0.1420
Zink	0.0955	Eiſenoxyd	0.1669
Kupfer	0.0952	Queckſilberoxyd . .	0.0518
Silber	0.0570	Bittererde	0.2439

Name.	Capacität.	Name.	Capacität.
Thonerde (Saphir) .	0.2173	Schwefelſ. Bittererde	0.2216
Schwefeleiſen . . .	0.1357	Kohlenſaures Kali .	0.2162
Schwefelblei . . .	0.0509	» » Natrum	0.2728
Schwefelzinn . . .	0.0837	Alkohol ſp. G. = 0.817	0.6666
Chlornatrium . . .	0.2140	Schwefeläther ſp. G. = 0.818	0.5433
Chlorkalium . . .	0.1730	Olivenöhl	0.4385
Salpeterſaures Kali .	0.2388	Terpentinöhl . . .	0.462
» » Natrum	0.2782	Kuhmilch	0.9999
Schwefelſaurer Kalk.	0.1966		

Merkwürdig iſt es, daß das Waſſer unter allen Körpern die größte Capacität hat, die Metalle aber in dieſer Beziehung ſehr tief ſtehen. Queckſilber hat z. B. eine 30 mal kleinere Capacität als Waſſer, ein Umſtand, der dieſes Metall zur Anwendung für Thermometer beſonders empfiehlt. Thieriſche Flüſſigkeiten kommen dem Waſſer am nächſten.

441. Die Beſtimmung der ſpecifiſchen oder relativen Wärme eines Gaſes unterliegt beſonderen Schwierigkeiten, weil ſolche Körper die Wärme ſchwer an andere abgeben, hauptſächlich aber weil es faſt unmöglich iſt, mit hinreichend großen Maſſen zu operiren. Man hat aber die in 436 beſprochene Miſchungsmethode für Gaſe geeignet abgeändert und zwar dadurch, daß man das warme Gas nicht unmittelbar mit kaltem Waſſer in Berührung bringt und die Temperatur des Gemenges beobachtet, nachdem die Ausgleichung vor ſich gegangen iſt, ſondern das gut getrocknete und auf 100° C. erhitzte Gas in einem gleichförmigen Strom durch ein ſchlangenförmig gewundenes Rohr leitet, das von kaltem Waſſer umgeben iſt. Dabei kann man das einmal gebrauchte Gas wieder auf 100° erwärmen, es abermals durch das von Waſſer umgebene Rohr leiten und daher mit einer verhältnißmäſſig kleinen Maſſe einen bedeutenden Strom eine geraume Zeit hindurch unterhalten. Da wird nun offenbar die Temperatur des Waſſers durch die ihm vom heißen Gaſe mitgetheilte Wärme ſo lange erhöht, bis der Wärmezufluß dem Abfluſſe derſelben an die kältere Umgebung gleich iſt. Sobald letzteres Statt findet, ändert ſich die Temperatur des Waſſers nicht mehr. Operirt man mit verſchiedenen Gaſen, indem man von denſelben gleiche Volume durch das Schlangenrohr ſtrömen läßt, ſo wird die ſtationäre Temperatur des Waſſers deſto höher ſeyn, je mehr Wärme das Gas abgegeben hat, und die Ueberſchüſſe der Temperatur des Waſſers über jene der Luft ſtehen in demſelben Verhältniſſe, wie die Capacitäten der Gaſe bei gleichen Volumen, d. h. wie die relativen Wärmemengen.

Sind C und c die Capacitäten zweier Gaſe, Θ ihre anfängliche Temperatur, T und t die ſtationäre Temperatur des Waſſers; ſo iſt offenbar $C\,(\Theta - \tau)$ die Wärmemenge, welche das erſte und $c\,(\Theta - t)$ diejenige, welche das zweite Gas an das Waſſer in einer Zeiteinheit ab-

gibt. Iſt nun τ die Temperatur der Luft, ſo wird an dieſe in derſelber Zeit in erſterem Falle die Wärmemenge $T-\tau$, im zweiten die Wärmemenge $t-\tau$ abgegeben. Da aber der Wärmezufluß an das Waſſer dem Wärmeabfluſſe vom Waſſer an die Luft gleich iſt; ſo hat man $\frac{C(\Theta - T)}{c(\Theta - t)} = \frac{T-\tau}{t-\tau}$ oder weil $\Theta - T$ und $\Theta - t$ nur wenig von einander abweichen $\frac{C}{c} = \frac{T-\tau}{t-\tau}$.

442. Durch dieſes Mittel erhält man aber nur das Verhältniß der Capacitäten der Gaſe unter einander. Um auch das Verhältniß zur Capacität des Waſſers kennen zu lernen, leitet man einen ſehr langſamen Strom heißen Waſſers durch das Schlangenrohr, bis die Temperatur des Kühlwaſſers ſo hoch wie bei dem Verſuche mit atmoſphäriſcher Luft iſt, und beſtimmt das dazu nöthige Waſſervolum.

Will man aus den ſo gefundenen, auf Waſſer oder atmoſphäriſche Luft bezogenen relativen Wärmemengen die ſpecifiſchen finden, ſo dividirt man erſtere durch die Dichten der Gaſe. Folgende Tabelle enthält die vertrauenswürdigſten Reſultate:

Name.	Relative Wärme.	Specifiſche Wärme Luft = 1.	Waſſer = 1.
Atmoſphäriſche Luft	1.000	1.0000	0.2669
Sauerſtoffgas	1.000	0.9069	0.2421
Waſſerſtoffgas	1.000	14.5349	3.8793
Stickgas	1.000	1.0318	0.2754
Kohlenoxydgas	1.000	1.0267	0.2740
Stickoxydulgas	1.227	0.8035	0.2145
Kohlenſäuregas	1.249	0.8195	0.2187
Oehlbildendes Gas	1.754	1.7898	0.4777
Waſſerdampf	1.960	3.1360	0.8370

Hieraus erhellet, daß die relative Wärme der einfachen Gaſe bei gleichem Drucke gleich iſt, daß aber zuſammengeſetzte Gaſe verſchiedene relative Wärmemengen enthalten.

443. Die relative Wärme eines Gaſes ändert ſich mit dem Drucke, unter welchem es ſteht, und wird deſto größer, je kleiner dieſer Druck iſt; doch ſteigt die Wärmemenge in einem geringeren Verhältniſſe als ſich der Druck ändert. Iſt z. B. die relative Wärmemenge der atmoſphäriſchen Luft bei $0^m.758$ gleich 1, ſo beträgt ſie nach Clement und Desormes bei $0^m.379$ nur 0.693, bei $0^m.189$ Druck 0.540, bei $0^m.095$ aber 0.368.

444. Bei dem vorhin (441) beſchriebenen Verſuche können ſich die Gaſe beim Abkühlen zuſammenziehen, weil ſie unter einem conſtanten Drucke ſtehen, und man erfährt daher dabei die Capacität bei veränderlichem Volume (conſtantem Druck).

Dieſes iſt offenbar nicht auf den Fall anwendbar, wo ſich ein Gas bei der Erwärmung in einem nicht oder doch nicht merklich ausdehnbaren Gefäße befindet, wobei alſo die Capacität bei conſtantem Volum und veränderlichem Druck ins Spiel kommt. Letztere muß kleiner ſeyn als erſtere, weil ein Gas, das ſich beim Erwärmen ausdehnen kann, nebſt der Wärme, die es aufnimmt, ohne ſein Volum zu ändern, noch fernere braucht, um die Vergrößerung des Volums zu erfahren, mithin zur eigentlichen Capacität bei conſtantem Volum auch noch die Ausdehnungswärme kommt.

Dieſer Schluß wird durch die Erfahrung begünſtiget, daß jeder ausdehnſame Körper durch Zuſammendrücken eine Temperaturerhöhung erfährt. Es iſt klar, daß dieſe Temperaturerhöhung mit dem Verhältniſſe der Capacität bei conſtantem Volum zu der bei veränderlichem Volum im Zuſammenhang ſtehen müſſe, und in der That beſtimmt man beſagtes Verhältniß aus der bei einer gegebenen Zuſammendrückung einer Gasmaſſe Statt findenden Erwärmung. Folgende Schlußweiſe zeigt dieſes näher: Es werde eine Luftmaſſe, deren Volum ν, deren Temperatur nach dem Luftthermometer t iſt, durch Zuſammendrücken auf das Volum ν' gebracht, mithin um die Größe $\nu - \nu' = \mu$ zuſammengedrückt. Soll durch dieſe Zuſammendrückung keine Aenderung in der Spannkraft der Luft hervorgebracht werden, ſo muß mit ihr gleichzeitig eine Temperaturverminderung eintreten und zwar eine ſolche von $\frac{\mu}{\nu}t^0$ nach dem Luftthermometer, welches eben ſo viel heißt als, es muß der Luftmaſſe $= 1$ die Wärmemenge $\frac{c.\mu t}{\nu}$ entzogen werden, wobei c die Capacität bei veränderlichem Volum iſt. Soll die Luftmaſſe ihre urſprüngliche Temperatur t wieder erhalten, ohne ihr Volum zu ändern, ſo muß die Wärmemenge $c'.\frac{\mu t}{\nu}$ zugeſetzt werden, wo c' die Capacität bei conſtantem Volum iſt. Die Größe $c.\frac{\mu t}{\nu} - c'.\frac{\mu t}{\nu} = (c - c')\frac{\mu t}{\nu}$ gibt demnach die Wärmemenge, welche die Luftmaſſe $= 1$ bei veränderlichem Volum mehr enthält als bei conſtantem Volum.

Es muß demnach $\frac{c - c'}{c'} . \frac{\mu t}{\nu}$ die Erwärmung ſeyn, welche die Luft bei der Temperatur t durch die Zuſammendrückung μ erfährt. Bezeichnet man dieſe durch δ, ſo erhält man $\delta = \frac{c - c'}{c'} . \frac{\mu t}{\nu}$ und hieraus, wenn für μ ſein Werth geſetzt wird

$$\frac{c}{c'} = 1 + \frac{\nu}{\nu - \nu'} . \frac{\delta}{t} \qquad \text{(A).}$$

Die Größen ν und ν' können entweder unmittelbar gemeſſen oder

durch den entſprechenden Werth des Druckes beſtimmt werden. Ließe ſich auch noch der Werth von δ durch ein thermometriſches Inſtrument genau genug unmittelbar beſtimmen; ſo wäre das Verhältniß $\frac{c}{c'}$ bekannt; allein letzteres iſt nicht der Fall und man iſt genöthiget dieſe Größe durch die Einwirkung der durch Zuſammendrückung entbundenen Wärme auf die Spannkraft der Luft oder gar erſt durch eine von dieſer Spannkraft abhängige Wirkung zu beſtimmen.

445. Zur Ableitung der Größe δ aus ihrer Einwirkung auf die Spannkraft der Luft dient ein Ballon, der mit einem Manometer in Verbindung ſteht, das den Druck anzeigt, welcher der Spannkraft der im Ballon enthaltenen Luft entſpricht; ein am Halſe des Ballons angebrachter Hahn geſtattet, die innere Luft mit der äußeren in Communication zu ſetzen und ſie wieder abzuſperren. Der Verſuch ſelbſt, welcher zur beabſichtigten Beſtimmung von δ angeſtellt werden muß, beſteht in Folgendem: 1) Man verdünnt die Luft im Ballon und mißt die ihr in dieſem Zuſtande entſprechende Spannkraft, nachdem ſie die äußere Temperatur angenommen hat, am Manometer. 2) Hierauf ſtellt man durch Oeffnen des Hahnes die Communication zwiſchen der Luft im Ballon und der äußeren her, damit erſtere wieder die Spannkraft der letzteren annehme, welches am Manometer erkannt wird. Iſt die Bohrung des Hahnes weit genug, ſo erfolgt dieſe Ausgleichung in weniger als einer Secunde und die durch die Compreſſion der Luft entwickelte Wärme kann ſich in ſo kurzer Zeit nicht zerſtreuen, ſondern muß ihre ganze Wirkung auf die Spannkraft der Luftmaſſe äußern. Nachdem der Hahn wieder geſchloſſen iſt, wartet man ab, bis der Inhalt des Ballons wieder die äußere Temperatur angenommen hat, und beſtimmt dann den Druck am Manometer abermals, der nothwendig kleiner ſeyn wird, als der äußere Luftdruck. Durch dieſe Verſuche kennt man demnach den Druck der verdünnten Luft p', jenen der wieder verdichteten, nachdem ſie die äußere Temperatur angenommen hat $= p''$. Der äußere Luftdruck p und die Temperatur t der Luft nach dem Luftthermometer werden als für ſich bekannt vorausgeſetzt. Es ſey nun ν das Volum des Balloninhaltes und ν' jenes, auf welches die verdünnte Luft durch die von Außen zugelaſſene, die hier wie ein comprimirender Kolben wirkt, reducirt wird. Da iſt es klar, daß man hat:

$$\nu : \nu' = p' : p'' \text{ und daraus } \frac{\nu}{\nu - \nu'} = \frac{p'}{p'' - p'} \quad \text{(a)},$$

ferner

$$t : t + \delta = p'' : p \text{ und daraus } \frac{\delta}{t} = \frac{p - p''}{p''} \quad \text{(b)}.$$

Werden nun die Werthe von (a) und (b) in (A) ſubſtituirt, ſo erhält man:

$$\frac{c}{c'} = \frac{p - p''}{p'' - p'} \cdot \frac{p'}{p''}.$$

Bei einem von Clèment und Desormes angeſtellten Verſuche war $p = 0^m.7665$, $p' = 0^m.7527$, $p'' = 0^m.7629$, mithin $p - p'' = 0.0036$, $p'' - p' = 0.0102$ und daher $\frac{c}{c'} = 1.35$. Man kann auch die Luft im Ballon verdichten, dann durch Oeffnen des Hahnes Gleichgewicht zwiſchen ihr und der äußern Luft herſtellen, dann die Communication abſperren, und wenn die äußere Temperatur zurückgekehrt iſt, die Spannung des Balloninhaltes abnehmen. Auf dieſem Wege haben Gay-Luſſac und Welter für $\frac{c}{c'}$ die Zahl 1.37244 gefunden. Indeß verdient ſelbſt dieſes Reſultat kein vollkommenes Zutrauen, weil man die Größen p' und p'' nicht genau genug finden kann.

446. Zu einem viel genaueren Werthe der Größe $\frac{c}{c'}$ gelangt man aus der Betrachtung, daß die Fortpflanzungs-Geſchwindigkeit des Schalles in einer Luftmaſſe durch die in einer verdichteten Welle Statt findende Wärmeentbindung vergrößert wird. Es iſt nämlich von I. 406 bekannt, daß ſich in einem Gaſe ein Impuls mit der Geſchwindigkeit

$$C = \sqrt{\frac{gh}{D}}$$

fortpflanze, wenn bei der mit der Fortpflanzung verbundenen Verdichtung und Verdünnung keine Temperaturänderung eintritt. In beſagter Formel bedeutet g die Acceleration der Schwere, b den Barometerſtand, D die Dichte des Mittels. Wird aber auf die bekannte Temperaturänderung Rückſicht genommen, ſo geht die Formel für die Schallgeſchwindigkeit über in

$$C' = \sqrt{\frac{c}{c'} \cdot \frac{gh}{D}}.$$

Aus dieſem ergibt ſich

$$\frac{c}{c'} = \frac{C'^2}{C^2}.$$

Der Werth von C läßt ſich leicht durch Rechnung finden, da die Größen g, h, D als bekannt angeſehen werden können, C' hingegen kann man bei der atmoſphäriſchen Luft aus directen Schallverſuchen (I. 417), bei anderen Gaſen aus der Tonhöhe einer mit dieſem Gaſe gefüllten Pfeife entnehmen. Auf dieſem Wege hat Dulong ſich überzeugt, daß $\frac{c}{c'} = 1.42$ ſey, für alle Gaſe gelte und auch von der Temperatur unabhängig zu ſeyn ſcheine.

Viertes Kapitel.

Quellen der Wärme.

447. Die Wärme wird uns theils von außen und zwar von der Sonne, zum Theil auch von den Sternen zugeführt, oder ſie wird durch beſondere Vorgänge erzeugt, nämlich durch Stoß und Reibung, Elektricität, chemiſche Wirkung, und durch den Lebensproceß. Jede dieſer Wärmequellen wirkt auf eigenthümliche Weiſe, mit deren Darſtellung wir uns hier beſchäftigen wollen.

448. Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde iſt die Sonne. Ein ihren Strahlen ausgeſetzter Körper wird erwärmt, und zwar unter übrigens gleichen Umſtänden deſto mehr, deſto dichter das darauf fallende Licht iſt und je weniger ſchief ihn die Strahlen treffen. Doch hängt dieſe Erwärmung auch von dem ihr unterworfenen Körper ab. Läßt man zwei ſonſt übereinſtimmende Thermometer, deren eines eine mit Kienruß geſchwärzte Kugel hat, von der Sonne beſcheinen, ſo ſteigt das mit der ſchwarzen Kugel viel höher als das andere; legt man verſchiedenfarbige Tuchlappen auf Schnee, ſo ſchmilzt dieſer, wenn die Sonne darauf ſcheint, zuerſt unter den dunkleren Lappen. Jedermann weiß, daß ſchwarze Kleider im Sommer wärmer ſind als lichte, und daß ſich ſchwarzer Ackerboden, ſchwarz angeſtrichene Wände unter dem directen Einfluß der Sonne viel mehr erwärmen, als wenn dieſe Körper eine lichte Farbe haben.

Dieſes Verhalten ſchwarzer Körper im Sonnenlichte hat ſchon Pictet, ſpäter Leslie zur Beſtimmung der Intenſität des Sonnenlichtes angewendet, in der Vorausſetzung, daß die Größe der Erwärmung eines Körpers im Sonnenlichte der Intenſität des letzteren proportional ſey. Leslie hat eine Kugel ſeines Differenzial-Thermometers geſchwärzt und es in dieſem Zuſtande als Photometer gebraucht. Man hat aber gegen die Richtigkeit dieſes Inſtrumentes wohl begründete Bedenken erhoben. (Kurzer Bericht von Verſuchen und Inſtrumenten, die ſich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von J. Leslie. Leipzig, 1823.)

449. Die oben erwähnten Erfahrungen, nach welchen es den Anſchein hat, als wirke das Sonnenlicht nur in dem Maße erwärmend, als es von Körpern abſorbirt wird, haben die Hypotheſe erzeugt, die Wärme ſey in den Lichtſtrahlen gleichſam gebunden und werde erſt durch Abſorption der erſteren frei. Heut zu Tage unterliegt es aber keinem Zweifel mehr, daß Lichtſtrahlen als ſolche nicht nothwendig wärmen, und daß die erwärmende Kraft der Sonne von eigenen, die Lichtſtrahlen begleitenden, aber von denſelben ganz unabhängigen Wärmeſtrahlen herrühre, die den Geſetzen unterliegen, welche für ſtrahlende Wärme überhaupt nachgewieſen worden ſind, mithin auch nur in ſo fern eine Temperaturerhöhung bewirken, als ſie von Körpern abſorbirt werden. Daraus folgt nun, daß die Wärmeſtrahlen der Sonne ſchon beim Eintritt in unſere Atmoſphäre durch Reflexion eine Schwä-

chung erleiden, auf ihrem Wege durch die Atmoſphäre fortwährend wegen der unvollkommenen Diathermanität der Luft Abbruch erfahren und daß daher deſto wenigere die Erdoberfläche erreichen, je größer ihr Weg durch die Atmoſphäre, je dichter und je trüber dieſe iſt. Man nimmt an, die Luft ſey für alle Arten der Wärmeſtrahlen gleich diatherman, wornach in den die Erde erreichenden Wärmeſtrahlen dasſelbe Verhältniß der verſchiedenen Strahlenarten herrſchen muß, wie bei ihrem Eintritte in die Atmoſphäre. Mittel, welche das Licht concentriren, wie z. B. Hohlſpiegel und Sammellinſen, bewirken auch eine Verdichtung der Wärmeſtrahlen, doch kann eine Linſe den Lichtſtrahlen den Durchgang reichlich geſtatten, die Wärmeſtrahlen aber ſtark abſorbiren, und darum ſteht die Concentration der Wärme nicht immer mit jener des Lichtes in gleichem Verhältniſſe, ja es iſt eine Sammellinſe möglich, in deren Focus das Licht ſehr ſtark concentrirt iſt, ohne die mindeſte Erwärmung zu erregen.

450. Leitet man Sonnenlicht durch ein dreiſeitiges Prisma von Steinſalz, ſo erhält man zugleich ein Licht- und Wärmeſpectrum, und in letzterem iſt wegen der vollkommenen Diathermanſie des Steinſalzes die Wärme ſo vertheilt, wie es ihr Verhältniß im Sonnenlicht mit ſich bringt. Man findet da, daß die Wärme von dem violetten Theile zum rothen hin zunimmt, daß aber das Wärmeſpectrum um $^1/_3$ des Lichtſpectrums über den rothen Theil hinausreicht. Das Maximum der Wärme herrſcht außerhalb des Roth in einer beträchtlichen Entfernung von der äußerſten Grenze deſſelben. Prismen aus minder vollkommen diathermanen Stoffen geben nur, wenn ſie die Strahlen nahe an der Kante des brechenden Winkels auffangen, mithin dort, wo die Dicke des Prisma's ſehr gering iſt, dieſelbe Wärmevertheilung wie ein Steinſalzprisma; in einer größeren Entfernung von dieſer Kante hat der Grad der Diathermanſie Einfluß auf dieſe Vertheilung, und ſie iſt verſchieden nach Maßgabe der Natur des Prisma, ſeiner Dicke und ſeines brechenden Winkels. Da die brechbaren Wärmeſtrahlen zugleich die leichter abſorbirbaren ſind, ſo führen nicht vollkommen diathermane Prismen die wärmſte Stelle näher ans Violett.

Ein Prisma von blauem Kobaltglas, welches das Lichtſpectrum ſehr ſtark ändert und abwechſelnd lichte und dunkle Zonen in demſelben erzeugt, liefert aber ein Wärmeſpectrum mit regelmäßig und ſtetig abnehmender Wärme zu beiden Seiten des Wärmemaximums. Ein aus Waſſer und einem mit Kupferoxyd gefärbten Glaſe gebildetes Prisma liefert ein Lichtſpectrum ohne Wärme und eines aus ſchwarzem Glaſe ein Wärmeſpectrum ohne Licht. Nach Seebeck fällt die wärmſte Stelle des Spectrums außerhalb des Roth, wenn das Prisma aus Flintglas beſteht, hingegen in das Roth ſelbſt, wenn das Prisma aus Crownglas oder aus gewöhnlichem weißen Glaſe gemacht iſt, oder gar in Gelb bei einem durch Glasſcheiben gebildeten, mit Waſſer, Alkohol oder Terpentinöhl gefüllten Gefäße, endlich zwiſchen Roth und Gelb, wenn dieſes hohle Prisma mit ſtarker farbloſer Schwefelſäure oder mit einer klaren Löſung von Queckſilberſublimat gefüllt iſt. Man kann die Vertheilung der Wärme im Spectrum nach Herſchel leicht

ſichtbar machen, wenn man ein Blatt dünnes Papier durch eine ruſsende Flamme ſchwärzt, es dann auf ein Bret aufzieht, die weiße Seite mit Alkohol benetzt und das Spectrum darauf fallen läßt. Da die ſtärker erwärmten Stellen eher trocknen als die anderen, ſo erkennt man aus dem Auftreten mehr oder minder heller Flecken am Papier leicht die Stellen, wo Wärmeſtrahlen am ſtärkſten wirken. Herſchel bemerkte, als er ſich eines Flintglasprisma's bediente, in dem minder gebrochenen Theile des Sonnen-Wärmeſpectrums mehrere Unterbrechungen, ähnlich den Fraunhofer'ſchen Linien im Lichtſpectrum, aber gewiß von einer gleichen Urſache herrührend. (Herſchel's Unterſuchungen über die Natur der Sonnenſtrahlen. Celle 1801. Seebeck über die Wärme im prismatiſchen Sonnenbilde. In den Abhandlungen der Berliner Akademie. Berlin, 1820. S. 393 u. ſ. w, Melloni in Pogg. Ann. 39. 558.)

451. Eine ſehr reichhaltige, aber bei weitem noch nicht hinreichend erforſchte Quelle der Wärme iſt die Reibung. Es iſt bekannt, daß ſich eiſerne Werkzeuge, wie Bohrer, Sägen, Radſchuhe ꝛc. beim Gebrauche ſtark erhitzen, daß ungeſchmierte Wagenaren und die Zapfen ſchnell bewegter Maſchinen ſich eben ſo verhalten, daß zwei ſtark zuſammengedrückte und ſchnell über einander bewegte Stücke Holz ſich entzünden können. Die unter denſelben Umſtänden beim Reiben erzeugte Wärmemenge iſt nach Becquerel von der Wärmeleitung und Capacität der ſich reibenden Körper ganz unabhängig, nur wächſt ſie mit der Kraft, wodurch die Körper an einander gedrückt werden. Auch die Beſchaffenheit ihrer Oberfläche ſcheint im Allgemeinen ohne Einfluß auf das hier in Rede ſtehende Phänomen zu ſeyn, nur beim Reiben zweier Körper von gleicher Natur, deren einer glatt, der andere geritzt iſt, erhitzt ſich letzterer mehr als erſterer. Die Wärmeentwicklung dauert fort, ſo lange das Reiben währt, ſteht jedoch mit der Dauer der Bewegung nicht im nämlichen Verhältniſſe, und es hat den Anſchein, als wäre hierin gar keine Erſchöpfung der Körper möglich. Sie geht im leeren Raume vor ſich wie in der Luft. Man war bis jetzt noch nicht im Stande, den inneren Grund der Wärmeentwicklung beim Reiben anzugeben, ja es ſcheint als wenn hiedurch die Wärme nicht bloß frei gemacht, ſondern wirklich erzeugt würde.

452. Stoß und Druck ſind eine andere nicht unausgiebige Quelle von Wärme. Percuſſionspulver braucht zur Entzündung nur einen kräftigen Schlag, Knallſalze entzünden ſich beim geringſten Stoße, eine Eiſenſtange kann durch Hämmern auf einem Ambos bis zum Glühen erhitzt werden. Beim gewöhnlichen Feuerſchlagen mittelſt Stein und Stahl werden durch einen raſchen Stoß Stahlſtücke losgeſchlagen und zugleich bis zum Schmelzen glühend gemacht, wie man ſich überzeugen kann, indem man die glühenden, als Funken erſcheinenden Stückchen mit einem Mikroſkope anſieht, wo ſie als verbrannte Kugeln erſcheinen. Wird ein Gas bis etwa $^1/_5$ ſeines Volums raſch zuſammengedrückt, ſo erhitzt es ſich bis zum Glühendwerden und kann dann ſelbſt einen Schwamm anzünden. Darauf beruht der Gebrauch des Luftfeuerzeuges, eines mit einem luftdicht ſchließenden Kolben verſehenen, einerſeits geſchloſſenen Cylinders. Es iſt im-

merhin möglich, daß die Erwärmung durch Stoß und Druck eine Folge der hiedurch bewirkten Capacitätsverminderung ſey. Da nämlich jeder Körper eine eigene Ausdehnungswärme hat (439), ſo muß er einen Theil derſelben fahren laſſen, ſobald ſein Volum durch einen äußeren Druck vermindert wird. In der That bemerkt man auch in Fällen, wo Stoß oder Druck Wärme erregt haben, daß der betreffende Körper dichter geworden ſey; namentlich iſt dieſes bei den Metallen nach dem Hämmern der Fall. Die erſten Stöße oder Schläge haben die größte Verdichtung und auch die reichlichſte Wärmeentwicklung zur Folge, und ſolche Körper, welche auf dieſem Wege keine oder eine nur unmerkliche Verdichtung erfahren, wie z. B. tropfbare Flüſſigkeiten, erleiden auch durch Stoßen und Drücken keine Erwärmung. Ein Stoß erſcheint in der hier beſprochenen Beziehung darum ſo ausgiebig, weil er nur die zunächſt getroffenen Maſſentheile afficirt und dieſe darum auch ſtark verdichtet. Für Körper, deren Ausdehnungswärme bekannt iſt, könnte man auch die durch einen beſtimmten Druck erzeugte Erwärmung berechnen. Gegenwärtig iſt dieſes nur bei Gaſen der Fall.

Berthollet fand, daß ſich eine Kupferplatte auf einem Münzprägeſtock durch den erſten Stoß des Stempels um 9°.69, durch den zweiten um 4°.06, durch den dritten um 1°.06, im Ganzen alſo um 14°,81 erwärmte, ihr ſpecifiſches Gewicht aber von 8.8599 auf 8.9081 ſtieg. Eine Silberplatte erfuhr durch dieſelbe Behandlung eine Erwärmung von 8°.19 und eine Verdichtung von 10.4667 auf 10.4838. Gold erhitzte ſich noch weniger und erfuhr eine noch geringere Verdichtung. Für chemiſch einfache Gaſe iſt die Ausdehnungswärme bei einer Volumenvergrößerung von $^1/_{274}$tel des anfänglichen Rauminhaltes = 0.421, für zuſammengeſetzte Gaſe = 0.337, für jede andere Compreſſion iſt ſie dieſer proportionirt. Die dieſer Wärmeentwicklung entſprechende Temperaturerhöhung ſteht im verkehrten Verhältniſſe zur Capacität.

453. Es iſt leicht einzuſehen, daß Verdünnung eines Körpers eben ſo Quelle von Kälte, d. h. von Wärmeabſorption ſeyn müſſe, als Verdichtung Wärmeentwicklung, d. h. Erwärmung zur Folge hat. Legt man ein dünnes Streifchen Kautſchuk auf die Lippen, und vermindert durch einen ſchnellen Zug deſſen Dichte, ſo empfindet man die dabei Statt habende Erkältung. Wird in einem Gefäße die Luft ſtark verdichtet und hierauf abgewartet, bis ſie die Temperatur der Umgebung angenommen hat, dann aber ihr geſtattet, durch eine kleine Oeffnung auszuſtrömen; ſo erkaltet ſie ſich dabei ſo ſehr, daß ſie ſelbſt im Sommer eine kleine Portion Waſſer zum Gefrieren bringen kann. Auch die aus dem Sicherheits-Ventile eines Dampfkeſſels ausſtrömenden, ſtark geſpannten Waſſerdämpfe fühlen ſich kalt an.

454. Zu den Mitteln, Wärme zu erzeugen, gehören auch die chemiſchen Verbindungen. Dieſes beweiſen unzählige Erſcheinungen: Lebendiger Kalk erhitzt ſich mit Waſſer, eben ſo Schwefelſäure; Kalk, Baryt, Strontian können in Berührung mit Schwefel-

ſäure ſogar glühend werden; Terpentinöhl wird durch ſtarke Salpeterſäure bis zur Entzündung erhitzt, chlorſaures Kali erzeugt mit Schwefelſäure ſo viel Wärme, daß man damit Schwefel anzünden kann (chemiſches Feuerzeug) ꝛc. Es gibt auch chemiſche Actionen, bei denen Wärme verſchluckt wird, alſo Erkältung eintritt, namentlich muß dieſes bei Zerlegung ſolcher Verbindungen der Fall ſeyn, welche bei ihrer Bildung Wärme entwickelten. Bei zuſammengeſetzten chemiſchen Proceſſen beſtimmt das Uebergewicht des einen oder des anderen Partialproceſſes, ob das Geſammtreſultat in Erwärmung oder Erkältung beſtehe. Gewiß iſt, daß wenn man die bei den verſchiedenen einfachen chemiſchen Verbindungen entwickelte Wärme ausgemittelt hätte, man die bei zuſammengeſetzten Proceſſen, wo Verbindungen und Zerlegungen zugleich vorkommen, entwickelte oder verſchluckte Wärmemenge voraus beſtimmen könnte. Uebrigens kann die bei ſolchen Proceſſen entwickelte Wärme wenigſtens zum Theile von der niedern Wärmecapacität der erzeugten Stoffe kommen oder von ausgeſchiedener Flüſſigkeitswärme; es iſt darum nicht bewieſen, daß der chemiſche Proceß ſelbſt als wärmeerzeugende Kraft wirken könne.

455. Merkwürdig ſind die conſtanten Zahlenverhältniſſe, welche nach Heß bei der Verbindung zuſammengeſetzter Stoffe bezüglich der entbundenen Wärmemengen Statt finden. So z. B. entwickelt ſich bei der chemiſchen Verbindung von 1 Atom Schwefelſäure mit 1 Atom Waſſer eine gewiſſe Wärmemenge = a, bei der ferneren Verbindung dieſer nun ſchon waſſerhältigen Säure mit einem zweiten Atom Waſſer weniger, mit einem dritten Atom noch weniger, aber die ſo entbundenen Wärmequantitäten ſind vielfache von a, bis man endlich auf eine Miſchung aus Waſſer und Schwefelſäure kommt, bei der ein weiterer Waſſerzuſatz keine Wärme mehr entwickelt. Auf ähnliche Weiſe verhält ſich Salpeterſäure. 1 Atom Schwefelſäure entwickelt gleich viel Wärme, ſie mag ſich mit Ammoniak, Natrum oder Kali verbinden, mit Kalk iſt aber die Wärmeentwickelung ſtärker. Uebrigens erfordern die Unterſuchungen dieſer Art noch eine größere Ausdehnung, verſprechen aber reiche Ausbeute.

Nach Heß gibt	SO_3 mit	H_2O	12432	= 8.1554	Wärmeeinheiten
	H_2O, SO_3 mit	H_2O	3108	= 2.1554	»
	$2H_2O$, SO_3 mit	H_2O	1554	= 1.1554	»
	$3H_2O$, SO_3 mit	H_2O	1554	= 1.1554	»
	$6H_2O$, SO_3 mit	mH_2O	1554	= 1.1554	»
			20202	=13.1554	Wärmeeinheiten,

wo m ſo viele Aequivalente Waſſer bedeutet, daß ein fernerer Waſſerzuſatz keine Erwärmung mehr zur Folge hat. Aehnliches gilt von Salpeterſäure: Es gibt nämlich:

H_2O, NO_5 mit H_2O	1554	= 1.1554	Wärmeeinheiten
$2 H_2O, NO_5$ mit H_2O	1554	= 1.1554	»
$3 H_2O, NO_5$ mit $2 H_2O$	1554	= 1.1554	»
$5 H_2O, NO_5$ mit H_2O	777	= $^1/_2$.1554	»
$6 H_2O, NO_5$ mit $2 H_2O$	777	= $^1/_2$.1554	»
$8 H_2O, NO_5$ mit $m H_2O$	1554	= 1.1554	»
	7770	= 5.1554	Wärmeeinheiten.

Schwefelſäure mit Waſſer geſättiget entwickelt alſo 20202 = 13.1554 Wärmeeinheiten, Salpeterſäure 7770 = 5.1554 derſelben. (Pogg. Ann. 47. 210; 50. 385; 52. 97, 114; 53. 499. 535; 56. 463; 57. 569.)

456. Die Aenderungen der Temperatur bei chemiſchen Prozeſſen und bei der Aenderung des Aggregationszuſtandes eines Körpers ſind gewöhnlich ſehr bedeutend und daher aus ihrer Wirkung leicht wahrzunehmen. Es gibt aber ſolche Aenderungen, die nur in einem ſehr geringen Grade und zwar dann Statt finden, wenn feſte Körper von Flüſſigkeiten benetzt oder wenn flüſſige Stoffe eingeſogen werden, ſo daß man das Benetzen und Eingeſogenwerden gleichſam als einen geringen Grad der Formänderung eines Körpers anſehen kann. Die erſten Erfahrungen im Reiche dieſer Phänomene machte **Pouillet** mit Thermometern, wodurch eine Temperaturänderung von 0°.01 C. bemerkt werden konnte, und fand, daß bei dem Benetzen und Einſaugen immer Wärme frei werde. Iſt die netzende Flüſſigkeit Waſſer, ſo iſt für alle unorganiſche Stoffe die frei werdende Wärme innerhalb der Grenzen von $^1/_4$° bis $^1/_2$° enthalten, es finden aber faſt dieſelben Grenzen Statt, wenn man ſtatt Waſſer, Oehle, Alkohol, Eſſigäther nimmt. Bei der Abſorption iſt die Wärmeentwicklung größer als beim bloßen Benetzen, wie man es leicht vorausſehen kann, wenn man bedenkt, daß Abſorption eigentlich ein verſtärktes Benetzen iſt. (Schweigg. J. 36. 193.)

457. Eine höchſt merkwürdige Wärmequelle iſt der **Lebensprozeß**. Menſchen und Thiere beſitzen im normalen Zuſtande ihrer Lebensthätigkeit eine eigenthümliche, von der äußeren Umgebung unabhängige Temperatur. So z. B. hat im eiſigen Norden ſowohl, als im heißen Süden der erwachſene Menſch eine Temperatur von 37°.5 C., ein Kind eine ſolche von 39°, ein Vogel 40°—41°; ein Floh oder Amphibium hat 1°.5—2° über die Wärme des umgebenden Mittels. Da der thieriſche Körper, wie jeder andere, der wärmer iſt als die Umgebung, Wärme an dieſelbe abgeben muß, und zwar in derſelben Zeit deſto mehr, je größer die Differenz zwiſchen ſeiner Temperatur und jener der Umgebung iſt; ſo muß auch, um eine conſtante Temperatur zu bewahren, die Erzeugung von Wärme mit der Abnahme der Temperatur der Umgebung wachſen. Dieſe Quelle der Wärme muß ferner in allen Theilen des thieriſchen Körpers wirkſam ſeyn, welche mit arteriellem Blute in Berührung kommen; denn alle dieſe Theile, aber auch nur dieſe, haben ihre eigene Temperatur. Dem inneren Grunde dieſer Lebenswärme haben die Phyſiologen von jeher nachgeforſcht und ſich davon die mannigfaltigſten, oft ſehr unklare Vorſtellungen ge-

macht. Erſt in der neueſten Zeit hat der berühmte deutſche Chemiker Liebig dieſen wichtigen Gegenſtand ins gehörige Licht geſetzt. Nach ihm iſt die Entwicklung der thieriſchen Wärme die Folge der Verbindung des Kohlenſtoffes und Waſſerſtoffes mit dem Sauerſtoffe zu Kohlenſäure und Waſſer. Es wird nämlich fortwährend atmoſphäriſche Luft eingeathmet, der darin enthaltene Stickſtoff aber ſammt Kohlenſäuregas und Waſſerdampf ausgeathmet; letztere Stoffe werden überdieß noch durch die Hautausdünſtung abgeſondert. Den Kohlenſtoff und Waſſerſtoff zu dieſen Producten liefert der thieriſche Körper ſelbſt, den Sauerſtoff die eingeathmete Luft. Die Verbindung des Sauerſtoffes mit brennbaren Stoffen kann aber durchaus nicht ohne Wärmeentwicklung vor ſich gehen, ja es iſt die dadurch entwickelte Wärmemenge dieſelbe, als wenn ſolche Stoffe in freier Luft oder in Sauerſtoffgas verbrannt würden. Der auf ſolche Weiſe fortwährend abgeſchiedene Kohlenſtoff und Waſſerſtoff wird dem Körper durch Nahrungsmittel wieder erſetzt, und beſonders ſind hiezu jene geeignet, die wegen Mangel an Stickſtoffgehalt nicht Blut bilden, wie Zucker, Gummi, Stärke, Weingeiſt, Fett. Aus dieſer Anſicht erklären ſich alle in Bezug auf thieriſche Wärme Statt findenden beſonderen Erſcheinungen. Man begreift daraus, warum nur jene Körpertheile, welche mit arteriellem Blute und dadurch mit Sauerſtoff in Berührung kommen, eine eigene Wärme haben; warum mit Verminderung der Lufttemperatur und der dadurch vermehrten Quantität des eingeathmeten Sauerſtoffes die Wärmeerzeugung zunimmt, und zwar gerade in dem Maße, als der Wärmeabfluß an die Umgebung größer wird; warum Thiere, welche ſchnell athmen, eine höhere Temperatur beſitzen als andere, die langſam Athem holen; warum der Aufenthalt im Freien, wo ein größerer Wä = meverluſt durch Ausſtrahlen und Mittheilung Statt findet, auch zugleich die Eßluſt erhöht; warum in dem Maße, als mehr Sauerſtoff eingeathmet wird, auch mehr Nahrung aufgenommen werden muß; warum Bewegung und körperliche Anſtrengung eine erhöhte Wärmeentwicklung und das größere Verlangen nach Speiſe zur Folge hat; warum bei Mangel an Nahrung zuerſt das Fett, welches bloß Kohlenſtoff, Waſſerſtoff und Sauerſtoff enthält, vermindert wird ꝛc. Uebrigens darf nicht überſehen werden, daß der thieriſche Körper auch den allgemeinen phyſikaliſchen Geſetzen unterliege, und daß Reibung, Druck ꝛc. an demſelben eben ſo gut eine Quelle von Erwärmung ſeyn könne wie in einem Stück Metall. (Liebig in den Annalen der Chemie und Pharmacie. 41. 189. Vergleiche Tiedemann's Phyſiologie des Menſchen. Darmſtadt, 1830. 1. 447.)

Nach Lavoiſier nimmt ein erwachſener Menſch täglich 46037 Kub. Zoll Sauerſtoff im Gewichte von 65 Loth auf; ferner verzehrt ein ſolcher im Zuſtande mäßiger Bewegung täglich 27.8 Loth Kohlenſtoff. Letzterer fordert, um in Kohlenſäure verwandelt zu werden, 74 Loth Sauerſtoff und den größten Theil davon liefert demnach die Atmoſphäre, den kleineren die aufgenommenen ſtickſtofffreien Nahrungsmittel. 1 Loth Kohlenſtoff entwickelt beim Verbrennen ſo viel Wärme, daß man damit 78 Loth Waſſer von 0° — 100° erwärmen kann, demnach jene

27.8 Loth Kohlenſtoff ſo viel, daß man damit 27.8×78=2168.4 Loth = nahe 67.8 Pfd. eiskaltes Waſſer ſiedend heiß, oder nahe 10.6 Pfd. Waſſer in Dunſt verwandeln kann. Die Ausdünſtung durch Haut und Lunge beträgt beim Menſchen in 24 Stunden nahe 3 Pfd., ſo daß noch die zum Verdünſten von 7.6 Pfd. Waſſer oder zum Erhitzen von 48.6 Pfd. von 0 — 100° nöthige Wärme übrig bleibt, um die ausgeathmete Luft, die flüſſigen und feſten Excremente zu erwärmen und, den Wärmeverluſt an die Umgebung zu erſetzen.

Fünftes Kapitel.

Vom Verbrennen.

458. Es gibt chemiſche Verbindungen, bei denen die entwickelte Wärme bis zur Glühhitze ſteigt, wo dann Wärme und Licht zugleich auftreten. Man nennt dieſen Prozeß Verbrennen, ohne auf die Natur der Körper Rückſicht zu nehmen, welche ſich mit einander verbinden und den Prozeß unterhalten. Neueſtens hat man den Begriff des Verbrennens auf Verbindungen des Sauerſtoffes mit ihm verwandten Körpern beſchränkt, und ſieht nicht einmal Licht- und Wärmephänomene als weſentliche Charaktere dieſes Herganges an, indem man von einem raſchen, mit Wärme und Licht verbundenen Verbrennen und von einem langſamen, oft ohne merkliche Lichterſcheinung vor ſich gehenden ſpricht. Wir wollen hier vorzüglich den mit Wärme- und Lichtentwicklung vor ſich gehenden Oxydationsprozeß mit dem Worte Verbrennen bezeichnen und deſſen Geſetze erörtern, und können dieſes mit ſo mehr Beruhigung thun, als die phyſikaliſchen Geſetze dieſes Prozeſſes auch für jedes im weiteren Sinne gemeinte Verbrennen paſſen.

459. Zum Verbrennen gehören nothwendig zwei Stoffe, wovon einer nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche das Verbrennen erleidet, der andere aber es unterhält; erſterer heißt Brennſtoff, letzterer Zündſtoff. Beim Verbrennen im hier gemeinten Sinne des Wortes iſt immer der Sauerſtoff der Zündkörper und was ſich mit demſelben verbindet der Brennſtoff; im weiteren Sinne genommen kann aber derſelbe Körper bald Brennſtoff, bald Zündſtoff ſeyn, wie dieſes z. B. beim Schwefel der Fall iſt, der in einer Sauerſtoff-Atmoſphäre den Brennſtoff abgibt, während er, wenn man z. B. in einer Schwefeldunſt-Atmoſphäre Kupfer verbrennt, als Zündſtoff wirkt.

460. Das Verbrennen findet, wie jede chemiſche Verbindung, nur Statt, wenn die Temperatur über einer gewiſſen Grenze ſteht. Bei vielen Körpern reicht dazu ſchon die gewöhnliche Lufttemperatur hin, und dieſe entzünden ſich demnach ſchon von ſelbſt, ſobald ſie in die Luft oder in Sauerſtoffgas kommen. Man nennt ſie Pyrophore, Selbſtzünder [wie z. B. Kalialaun mit Kohlenpulver geglüht; 2½ Gewichtstheile reine, des Kryſtalliſationswaſſers beraubte Weinſteinſäure, mit 8 Theilen Bleiſuperoxyd gerieben; durch Waſſerſtoff aus

Eiſenoxyd ausgeſchiedenes fein zertheiltes Eiſen]. Die meiſten Körper brauchen aber eine Temperaturerhöhung, um zu verbrennen. Dieſe hängt, wenn das Verbrennen raſch, d. h. mit Lichtentwicklung vor ſich gehen ſoll, von der Natur des Brennſtoffes und ſeinem Vertheilungszuſtande ab. Ausdehnſame Körper brauchen in der Regel eine höhere Temperatur, als tropfbare oder feſte; fein zertheilte Stoffe erhalten leichter die zum raſchen Verbrennen nöthige Temperaturerhöhung, hauptſächlich weil die Iſolirung der einzelnen Theile dem Abfließen der Wärme entgegen ſteht und daher die Wärme mehr zuſammengehalten wird.

Phosphor brennt ſchon bei 60°, Schwefel bei 294°, Waſſerſtoffgas bei 300° C., ölbildendes Gas bei einer noch höheren Temperatur. Die poröſe Kohle, wie ſie beim unterdrückten Verbrennen von Linnen entſteht (Zunder), entzündet ſich ſchon durch einen Funken, während compacte Holzkohlen und Coaks dazu viel kräftigere Mittel brauchen; auch Kieſel brennt vor dem Erhitzen in der Luft leicht, während es nach dem Erhitzen in atmoſphäriſcher Luft, ja ſelbſt im Sauerſtoffgaſe unentzündlich iſt. Die Temperaturerhöhung, welche manchen Körper in der atmoſphäriſchen Luft entzündet, vermag dieſes nicht mehr, wenn die Luft bis auf einen gewiſſen Grad verdünnt iſt, weil es da an der hinreichenden Anzahl Berührungspuncte zwiſchen dem Brennſtoffe und dem Sauerſtoffe fehlt. Nach Davy läßt ſich ein Gemenge aus 2 Rthlen Waſſerſtoffgas und 1 Rthl. Sauerſtoffgas bei achtzehnfacher Verdünnung, ein aus zwei Rthl. Hydrogengas und 5 Rthl. atmoſphäriſcher Luft beſtehendes bei einer ſechsfachen Verdünnung nicht mehr durch den elektriſchen Funken anzünden. In der atmoſphäriſchen Luft läßt ſich eine Stahlfeder durch einen glühenden Schwamm nicht zum Verbrennen bringen, wohl aber im Sauerſtoffgaſe (Davy in Gilb. Ann. 56. 150); Phosphor in Baumwolle gewickelt oder mit einem gepulverten Körper, z. B. Schwefel, Holzkohle, Platinſchwamm, Antimon, Arſenik, Zinnober, Kalk, Salpeter, Flußſpath, Borſäure ꝛc. beſtreut, entzündet ſich hingegen leichter in verdünnter Luft, als in der von natürlicher Dichte. Lampenſchwarz erzeugt die Entzündung des Phosphors ſchon in freier Luft (Blache in Pogg. Ann. 23. 151). Ein Gemenge von Phosphorwaſſerſtoffgas und atmoſphäriſcher Luft entzündet ſich bei der gewöhnlichen Luftwärme, wenn es unter einen geringeren Druck gebracht wird, als der Luftdruck iſt. Die zur Einleitung des Verbrennungsprozeſſes nöthige Erwärmung kann durch ein beliebiges Wärmeerregungsmittel hervorgerufen werden, und es iſt für das Verbrennen ſelbſt einerlei, aus welcher Wärmequelle man ſchöpft. Man zündet oft Schwamm durch concentrirtes Sonnenlicht, unſere Kerzen und das Brennholz durch Mittheilung von einem ſchon brennenden Körper an, bei den ſogenannten chemiſchen Feuerzeugen (wo Schwefelkerzchen mit chlorſaurem Kali überzogen ſind und in Schwefelſäure getaucht werden) iſt es ein chemiſcher Prozeß, der zur Entzündung die Wärme liefert, bei andern Zündmaſchinen wirkt ein elektriſcher Funke, beim Feuerſchlagen der Stoß; die Wilden reiben zwei Hölzer auf einander bis ſie brennen. Manche poröſe Körper verdichten einige Gaſe ſo ſtark, daß die dadurch erregte Wärme zu ihrer Entzündung hinreicht. Dieſes iſt z. B. mit dem fein zertheilten Platin, mit Gold- oder Silberplättchen, nach Hare auch mit Asbeſt oder Holzkohle (welche man unter einem luftleeren Recipienten in eine Löſung von Chlorplatin getaucht, dann 24 Stunden getrocknet und zuletzt geglüht hat) der Fall, die Knallgas, wenn es ganz frei von

Kohlenoxyd und öhlbildendem Gas iſt, bis zur Entzündung in ihren Poren verdichten können. (Pogg Ann 17. 101; 31. 512; 39. 385.) Etwas Aehnliches ſcheint bei gepulverten Kohlen die Selbſtentzündung zu bewirken (Zeitſchr. 9. 228. Vergleiche Phil. Mag. Aug. 1833, p. 89, oder Heßler's Jahrb. 1. Jahrgang, S. 57).

461. Iſt der Verbrennungsprozeß einmal eingeleitet, ſo liefert er ſelbſt die zu ſeiner Fortſetzung nöthige Wärme, indem die dabei erregte Temperaturerhöhung in der Regel größer iſt, als ſie zur Unterhaltung des Brennens Noth thut. Außer einer beſtimmten Temperatur ſind aber noch andere Bedingungen zum Unterhalten des Verbrennens nothwendig, und zwar 1) Zufluß von Sauerſtoff in hinreichender Menge und mit der nöthigen Geſchwindigkeit. 2) Berührung zwiſchen dieſem und dem Brennſtoffe. Jeder Brennſtoff fordert nämlich eine beſtimmte Menge Sauerſtoff, um ſich mit ihm zu verbinden. Fließt nicht ſo viel zu, als nöthig iſt, ſo erleidet der Verbrennungsprozeß Abbruch und es wird bald nicht mehr Wärme genug entwickelt, als zur Fortdauer deſſelben nöthig iſt. Dieſer Zufluß von Sauerſtoff wird durch die beim Verbrennen erregte Temperaturerhöhung ſelbſt bewerkſtelliget. Die warme Luft ſteigt nämlich über dem brennenden Körper in die Höhe und kältere fließt von der Seite zu, um den von erſterer verlaſſenen Platz einzunehmen. Befindet ſich aber der Brennſtoff in freiem Raume, ſo kommt nur ein Theil der zuſtrömenden, Sauerſtoff führenden Luft mit ihm in Berührung; dieſer Theil genügt zwar für Körper, welche nur wenig Sauerſtoff brauchen, wie Weingeiſt, Holz ꝛc. und dieſe brennen darum auch ſogar im Freien oder auf einem offenen Herde; ſolche aber, die viel Sauerſtoff bedürfen, wie Steinkohle, Anthracit, Coaks ꝛc. muß man auf Roſte legen und in Eſſen einſchließen, damit die Luft gezwungen werde, unter dieſen Körpern einzutreten und den Brennſtoff zu berühren, ja man muß, um den Verbrennungsprozeß bei gehöriger Lebhaftigkeit zu erhalten, verticale Luftkanäle, Schornſteine anbringen, um die Geſchwindigkeit der aufſteigenden, bereits des Sauerſtoffes beraubten und hiedurch mittelbar auch den Zufluß der Sauerſtoff führenden Luft zu vermehren. In beſonderen Fällen werden ſogar künſtliche Zuführungen verdichteter Luft durch Gebläſe nöthig. Iſt die zuſtrömende Luft ſchon für ſich heiß, ſo braucht ſie nicht erſt auf Koſten des brennenden Körpers erhitzt zu werden und das Verbrennen geht um ſo raſcher und vollkommener vor ſich (Anwendung der heißen Luft bei Hochöfen, Friſchfeuer ꝛc.). Daß der Sauerſtoff den brennenden Körper an möglichſt vielen Stellen berühren müſſe, geht aus vielen Erſcheinungen hervor. Im comprimirten Sauerſtoffgaſe verbrennen Körper viel lebhafter, als in ſolchem von gewöhnlicher Dichte; verdünnt man den Sauerſtoff oder mengt ihn mit andern Gaſen, ſo dient er bei weitem nicht mehr ſo gut zum Verbrennen. Eiſendraht brennt recht gut in Sauerſtoffgas, aber nicht in atmoſphäriſcher Luft, worin nur $^1/_5$ Sauerſtoffgas vorkommt, außer man bringt ſie auf ihre fünffache Dichte, wo ſie dann wie reines Sauerſtoffgas wirkt. Ueberzieht man einen ſonſt guten Brennſtoff mit

einem nicht brennbaren Materiale, ſo hindert man dadurch die Berührung des erſteren mit Sauerſtoffgas und macht, daß er nicht mehr brennt. Dieſes iſt z. B. der Fall beim Aldiniſchen Feuerſicherheitskleide (Schafwolle mit Kochſalzſoole getränkt), auch die Feuer ſichernden Anſtriche gehören hieher. Wird das Verbrennungsproduct nicht verflüchtiget, ſo hindert es ebenfalls den Zutritt des Sauerſtoffes zum Brennſtoffe und thut dem Verbrennen Einhalt. So brennt ein Stück Eiſen, das ſich in Sauerſtoffgas oder in einer Schmiedeſſe entzündet hat, in der atmoſphäriſchen Luft nicht fort, weil das Eiſenoxyd nicht verflüchtiget wird.

Die Nothwendigkeit einer hinlänglichen Anzahl von Berührungspuncten zwiſchen Brenn- und Zündſtoff erklärt es, warum jeder Körper verliſcht, wenn er in atmoſphäriſche, bis zu einem gewiſſen Grade verdünnte Luft kommt. So verliſcht Waſſerſtoffgas in 8fach verdünnter Luft, aber Schwefel brennt noch bei 15facher, Phosphor bei 63facher Verdünnung der Luft, Waſſerſtoffphosphorid blitzt noch in möglichſt verdünnter Luft. Wenn man in einer abgeſchloſſenen Portion atm. Luft zu gleicher Zeit eine Wachskerze, Waſſerſtoffgas, Schwefel und Phopshor anzündet; ſo verliſcht zuerſt die Kerze, dann das Hydrogengas, hierauf der Schwefel und endlich der Phosphor.

462. In dem ſo eben Geſagten ſind auch die Mittel enthalten, wodurch man den Verbrennungsprozeß unterdrücken kann. Dieſe laufen im Allgemeinen darauf hinaus, ſo viel Wärme abzuleiten, daß der Reſt nicht mehr die nöthige Verbrennungstemperatur gewährt, den Zufluß des Sauerſtoffes abzuhalten oder deſſen Geſchwindigkeit unter eine gewiſſe Grenze herabzuſetzen, endlich den Brennſtoff vor Berührung mit demſelben zu ſchützen. Alle feuerlöſchenden Mittel beruhen auf einer oder der andern dieſer Bedingungen. Das Ausblaſen einer brennenden Kerze, Auslöſchen brennender Kohlen durch Auseinanderbreiten der einzelnen Stücke, das Schließen eines Kamines, in welchem es brennt, Zuſpritzen von Waſſer, Bedecken mit Sand, Miſt, Häckerling oder dem ſogenannten Feuerlöſchpulver erklären ſich leicht aus dem Vorhergehenden. Der abkühlenden Wirkung der Metalle wird es auch zugeſchrieben, daß Flammen nicht durch ein Drahtſieb von beſtimmter Feinheit des Geflechtes brennen. So z. B. brennt eine Weingeiſtflamme nicht mehr durch ein ſolches Sieb, wenn 100 Oeffnungen auf den Q. Zoll deſſelben kommen, wohl aber Waſſerſtoffgas. Darauf beruht Davy's Sicherheitslampe (eine kleine Laterne aus dünnem, ſiebartig geflochtenen Metalldrahte), mit der man ſich in Oerter wagen darf, wo Knallluft enthalten iſt, ohne befürchten zu dürfen, daß ſich die Entzündung außerhalb des Drahtgeflechtes fortpflanze. (Vergl. Libri in Zeitſchr. 3. 204.)

Eine Laterne, mit Drahtgeflecht umgeben, kann man mit brennender Kerze mitten in Stroh oder Heu ſtellen, ohne eine Fortpflanzung des Feuers befürchten zu dürfen. Der zu geringen Lichtſtärke, welche eine ſolche Lampe für ſich gibt, kann man durch einen beweglichen Hohlſpiegel abhelfen, den man dahin wendet, wo man die Beleuchtung am beſten braucht. Kommt man mit einer ſolchen Lampe in einen Raum,

der brennbare Luft enthält, ſo erſcheint die gewöhnliche Flamme mit blauer Spitze von deſto größerer Länge, je mehr ſolches Gas vorhanden iſt; die Gegenwart des Kohlenſäuregaſes gibt ſich durch häufigeren Rauch und trübes Brennen kund. Auf einem ähnlichen Grunde beruht auch Aldini's Sicherheitspanzer (ein aus Metalldraht geflochtenes Ueberkleid), das man über ein ſalzgetränktes Wollenkleid anzieht, um gegen Flammenfeuer geſchützt zu werden. Brennendes Holz, Papier, ja ſelbſt Terpentinöhl wird durch einen Ueberwurf von Häckerling ſchnell gelöſcht, ſelbſt ein in Häckerling geſtellter glühender Körper vermag denſelben nicht anzuzünden (Zeitſchr. n. F. 2. 279). Es iſt merkwürdig, daß das Sonnenlicht den Verbrennungsprozeß ſchwächt, wie ſich dieſes aus Mac-Keever's Verſuchen ergab, der Wachs- und Unſchlittkerzen im Finſtern, im Schatten und in einem vom directen Sonnenlichte beſchienenen Orte brennen ließ, und bemerkte, daß davon im erſten Orte am meiſten, im zweiten etwas weniger, im dritten endlich am wenigſten verzehrt wurde. Da ein langſames Verbrennen bei einer niederen Temperatur eher vor ſich gehen kann, als ein raſches; ſo kann es geſchehen, daß ein Körper, dem man die zur Unterhaltung eines lebhaften Brennens nöthige Temperatur genommen hat, doch noch fortfährt, langſam zu verbrennen. Dieſes iſt mit dem Weingeiſte im ſogenannten Glüh-Lämpchen der Fall. Wird nämlich über dem Dochte eines Alkohol-Lämpchens ein ſpiralförmig gewundener Platindraht oder eine mit Platin überzogene Glaskugel angebracht, das Lämpchen angezündet, und wenn das Platin glüht, wieder ausgelöſcht; ſo dauert doch das langſame Verbrennen des Weingeiſtes fort, man bemerkt keine Flamme mehr, ſieht aber im Dunkeln das Platin deutlich glühen, bis aller Weingeiſt verzehrt iſt.

463. Man kann das Verbrennungsproduct, die beim Verbrennen entwickelte Wärme und das Licht zum Gegenſtande einer beſonderen Berückſichtigung machen, und in der That leitet man den Verbrennungsprozeß immer wegen einem oder dem andern dieſer Puncte ein. Wir wollen darum auch jeden einzelnen näher betrachten. Das Verbrennungsproduct iſt zwar immer ein Oxyd, aber verſchieden nach Maßgabe des Brennſtoffes, je nachdem derſelbe chemiſch einfach oder zuſammengeſetzt iſt, und bei welcher Temperatur das Verbrennen vor ſich geht. Der einfachſte Hergang findet beim Verbrennen des Waſſerſtoffes Statt. Dieſer bildet beim Verbrennen eine Flamme, d. h. er erſcheint als leuchtendes Gas und bildet durch Verbindung mit Sauerſtoff Waſſer. Verwickelter iſt ſchon der Verlauf beim Verbrennen des Kohlenſtoffes. Dieſer brennt als ein nicht flüchtiger Stoff nur mit Gluth, außer bei ſehr hoher Temperatur, wo äußerſt feine Kohlentheile eine Art Atmoſphäre um den compacten Kohlenkörper bilden und als Flamme erſcheinen. Das Verbrennungsproduct kann Kohlenſäure und Kohlenoxydgas ſeyn, je nachdem die Temperatur mehr oder weniger hoch iſt; ja die ſchon gebildete Kohlenſäure kann beim Durchgehen durch glühende Kohlen durch Aufnahme von mehr Kohlenſtoff in Kohlenoxydgas zurückgeführt werden; namentlich ſcheint dieſes beim Hochofenprozeſſe der Fall zu ſeyn und alles Kohlenoxydgas, das an der Gicht erſcheint, dieſen Urſprung zu haben. Beim Verbrennen zuſammengeſetzter Stoffe vereinigt ſich zu-

erſt jenes Element mit dem Sauerſtoffe, welches zu demſelben die größte Verwandtſchaft hat, und erſt, wenn dieſes geſchehen iſt, kommt die Reihe an die andern Elemente. Bei Kohlenwaſſerſtoffverbindungen iſt es der Waſſerſtoff, der zuerſt verbrennt, und wenn nicht genug Sauerſtoff vorhanden iſt, um auch den Kohlenſtoff zu oxydiren, wird dieſer als Kohle abgeſchieden; daher das Rauchen kohlenſtoffhältiger Körper bei zu ſparſamen Zufluß von Sauerſtoff. Beim Verbrennen von Kohlenſtickſtoffverbindungen geht der Kohlenſtoff mit dem Sauerſtoffe eine Verbindung ein, der Stickſtoff aber wird abgeſchieden, und nur ſelten bilden ſich Stickſtoffoxyde. Unſere gewöhnlichen Brennſtoffe, wie Wengeiſt, Oehle, Holz, Steinkohlen, Coaks ꝛc. erleiden zuerſt eine Zerlegung; die äußere, aus den brennenden Zerſetzungsproducten beſtehende Hülle bildet gleichſam ein Gefäß, in welchem der Reſt des Brennſtoffes eine trockene Deſtillation erleidet. Die Producte dieſer Deſtillation richten ſich nach der Beſchaffenheit des Brennſtoffes und der vorhandenen Temperatur. Das letzte Product des Verbrennens ſolcher Stoffe iſt immer Waſſer und Kohlenſäure. Doch wird dieſes nur erzielt, wenn das Verbrennen vollkommen vor ſich geht; wo es an der hinreichenden Temperatur gebricht oder nicht Sauerſtoff genug vorhanden iſt, um allen Kohlenſtoff zu oxydiren, da wird ein Theil des letztern abgeſchieden und bildet, im fein zertheilten Zuſtande der weggeführten Luft und dem Waſſerdampfe beigemengt, den Rauch. Setzt ſich dieſer an kältere Körper an, ſo bildet er den Ruß. Meiſtens werden mit dem Rauche auch einzelne Deſtillationsproducte unzerſetzt fortgeriſſen, wie Eſſigſäure, Kreoſot ꝛc., und dieſe geben dann dem Rauche einen eigenthümlichen Geruch und verleihen ihm eine eigenthümliche Wirkſamkeit (Räuchern des Fleiſches). Erdige Beſtandtheile der Brennſtoffe und deren Salze bleiben als Aſche zurück. Letztere enthält demnach die mineraliſchen Stoffe des Brennmateriales im concentrirten Zuſtande, wo man ſie daher leicht durch chemiſche Mittel entdecken kann (Laugenbereitung, Pottaſchenſieden ꝛc.) Da jeder Pflanzenkörper unorganiſche Stoffe enthält, ſo muß jeder beim Verbrennen Aſche zurücklaſſen.

464. Jeder Brennſtoff entwickelt bei ſeiner Verbindung mit Sauerſtoff eine gewiſſe Wärmemenge, welche unverändert dieſelbe bleibt, die Verbindung mag raſch oder langſam vor ſich gehen, und der Sauerſtoff mag dem Brennſtoffe im reinen Zuſtande oder in der atmoſphäriſchen Luft, reichlich oder ſparſam zugeführt werden. Die dadurch erzeugte Temperaturerhöhung iſt aber von der Zeit abhängig, innerhalb welcher dieſe Wärmemenge entwickelt wird, und natürlich deſto höher, je raſcher die Entwicklung vor ſich geht. So lange man nicht die bei der chemiſchen Verbindung aller einfachen Stoffe frei werdende Wärmemenge ausgemittelt hat, iſt es unmöglich, die bei der Oxydation chemiſch zuſammengeſetzter Körper ſich entwickelnde vorauszuſagen; nur weiß man, daß ein zuſammengeſetzter Stoff immer weniger Wärme gibt, als jeder ſeiner Beſtandtheile für ſich, weil jener Theil der Wärme abgeht, der ſich bei der Bildung der Zuſammen-

ſetzung entwickelt hat und bereits zerſtreut iſt. Für ſolche Körper iſt in der Regel die Wärmemenge deſto größer, je mehr Sauerſtoff aufgenommen wird. Zur Ausmittlung dieſer Wärmemenge bedient man ſich entweder des Eisapparates (438) oder des von Rumford angegebenen Calorimeters, der aus einem kupfernen Gefäße A (Fig. 379) beſteht, in welchem ſich eine ſchlangenförmig gewundene kupferne Röhre B befindet, die durch deſſen Boden geht und außerhalb deſſelben einen Trichter bildet. Beim Gebrauche dieſes Inſtrumentes wird die zu verbrennende Subſtanz unter der Mündung der Schlangenröhre angezündet, nachdem man vorläufig das Gefäß des Calorimeters mit Waſſer gefüllt hat. Man wiegt den Körper vor und nach dem Verbrennen, und ſieht zu, welche Temperaturerhöhung das Waſſer im Gefäße erfahren hat.

Die gewöhnlichen Materialien, die man zum Behufe der Wärmeentwicklung verbrennt, ſind Holz, Holzkohlen, Steinkohlen und Torf. Friſches Holz enthält immer viel Waſſer, das der Wärmeentwicklung ſchadet; nach M. Bull beläuft ſich der Waſſergehalt im Mittel auf 42 vom Hundert, ſelbſt Holz, das ſchon 8 — 12 Monate in der Luft getrocknet wurde, enthält noch 25 pCt. Nach Bull geben ſelbſt gleich ſtark ausgetrocknete Hölzer nicht gleich viel Wärme. Nach deſſelben Verſuchen ſind die entwickelten Wärmemengen bei gleichem Volum des Holzes folgende: verkleinerte Rinde 100, Eiche 86, Eſche 77, Buche 65 Ulme 58, Birke 48, Kaſtanie 52, Weißbuche 65, Fichte 54, Pappel ital. 40. Alle Gattungen Holzkohlen entwickeln, wenn gleiche Gewichtsmengen derſelben verbrannt werden, gleich viel Wärme, aber die compacteren verbrennen langſamer als die mehr poröſen. Gewöhnliche Kohlen enthalten faſt immer 7 pCt. an unverbrennlichen Stoffen. Kohlen liefern im Durchſchnitte dreimal mehr Wärme, als eine gleiche Gewichtsmenge Holz, Steinkohlen liefern nach Bull im Durchſchnitte $^2/_3$ der Wärme, welche ein gleiches Gewicht Holzkohlen gibt. Guter Torf liefert nach Blavies nur $^1/_5$ von der Wärme, welche Steinkohlen geben. Nach Verſuchen verſchiedener Gelehrten werden durch 1 Pfund von nachſtehenden Körpern ſo viele Pfund Waſſer von 0 — 100° erwärmt, als die beigeſetzten Zahlen ausweiſen: Kohlenwaſſerſtoffgas 62.12; Kohlenoxydgas 18.57; trockenes Holz 36.66; Holz mit 20 pCt. Waſſer 29.45; detto mit 25 pCt. Waſſer 26.00; Holzkohlen 75; Steinkohlen der beſten Qualität 60.50; Coaks von 10 pCt Aſche 63.45, von 5 pCt. Aſche 66; Torf gewöhnlicher 15.00; Baumöhl 90.44; gereinigtes Rüböhl 93.07; Schwefeläther (0.728 ſpec. G.) 80.30; Alkohol (0.8176 ſp. G.) 61.95 Talg 71.86; weißes Wachs 94.79; Steinöhl (0.827 ſp. G.) 73.38; Terpentinöhl 45.00.

465. Wiewohl man häufig den Verbrennungsprozeß der dabei entwickelten Wärme wegen anſtellt, ſo kann man es doch nie dahin bringen, das ganze dabei entwickelte Quantum Wärme nutzbar zu machen, ja man begnügt ſich in vielen Fällen ſogar mit einem ſehr kleinen Theile des Ganzen. Was zur Erwärmung des Mauerwerkes verwendet wird, iſt für den weſentlichen Zweck ſo gut wie verloren; die von der Luft in den Schornſtein fortgeführte Wärme unterhält zwar den nöthigen Luftzug und iſt in ſofern von Nutzen, aber ſie hilft nicht die eigentliche Abſicht, Temperaturerhöhung unmittelbar erreichen;

ſelten iſt der Brennſtoff ganz trocken, und wenn er dieſes nicht iſt, muß ein Theil der Wärme daran verwendet werden, das Waſſer zu verdampfen. Es iſt faſt unmöglich, immer den Luftzufluß der Lebhaftigkeit des Verbrennens ganz anpaſſend zu unterhalten. Wird nun zu wenig Luft zugeführt, ſo wird ein Theil des Brennſtoffes mechaniſch fortgeriſſen, ohne zu verbrennen, und bildet jene ſchwarzen Rauchwolken, welche man über ſo vielen Schornſteinen ſieht; wird aber zu viel Luft zugeleitet, ſo hat man eine zu große Maſſe derſelben zu erwärmen. Jedes neue Zulegen von Brennſtoff hat eine Abkühlung der brennenden Maſſe zur Folge und hindert darum das vollkommene Verbrennen. Daher kommt es, daß in gewöhnlichen Zimmerheizungen nur $^1/_5$, bei offenen Kochherden nur $^1/_{20}$, ja nach Bunſen's Wahrnehmungen (Pogg. Ann. 46. 217) ſelbſt in einem guten Hochofen nur $^1/_4$ der ganzen entwickelten Wärme nutzbar gemacht wird. Am leichteſten hält man die Wärme beim Verbrennen von Knallluft zuſammen, und darum, und weil hier der Verbrennuugsprozeß ganz vollkommen vor ſich geht, kann man auf dieſem Wege die höchſte Temperatur hervorbringen (Neumann'ſches Gebläſe).

466. Der Verbrennungsprozeß liefert nebſt Wärme auch Licht. Gibt der Brennſtoff bei der Hitze, der er ausgeſetzt iſt, keine flüchtigen Beſtandtheile, wie z. B. gut ausgebrannte Holzkohle, Coaks ꝛc., ſo glüht er ohne Flamme; erhält er aber ſolche flüchtige Theile, ſo liefert er eine Flamme, wie z. B. Holz. Manche Körper liefern bei der Zerſetzung, die ſie beim Verbrennen erleiden, lauter flüchtige Theile, wie z. B. Weingeiſt, und ſolche geben dann nur eine Flamme ohne Gluth.

467. Das Leuchtvermögen eines brennenden Körpers hängt beſonders von ſeiner Dichte und von ſeiner Natur ab. In der Regel leuchten die viel dichteren, feſten und tropfbaren Körper mehr als die mit einer Flamme brennenden minder dichten Gaſe, und die Leuchtkraft der letzteren wird durch einen feſten Körper, der bei der größeren Hitze der brennenden Gaſe ſehr ſtark glüht, ungemein erhöht. Eine Waſſerſtoffgasflamme leuchtet nur ſehr wenig; leitet man aber das Gas vorläufig durch Terpentinöhl, ſo nimmt es den Dampf desſelben auf, dieſer wird zerſetzt, ſein Kohlenſtoff ausgeſchieden, zum Glühen erhitzt und erzeugt ſo eine größere Leuchtkraft der Flamme. Die Flamme von verdichtetem Knallgaſe leuchtet viel ſtärker, als die von demſelben Gaſe in natürlicher Dichte. Oehlbildendes Gas gibt eine ſtark leuchtende Flamme, wenn beim Verbrennen zuerſt die Kohle ausgeſchieden wird und dann verbrennt; doch wird die Lichtſtärke aller Körper noch mehr erhöht, wenn man einen Platindraht in die Flamme hält, weil dieſer ſchnell weißglühend wird. Die Flamme des gewäſſerten Weingeiſtes gibt ein ſehr ſchwaches Licht; tränkt man aber den baumwollenen Docht einer Weingeiſtlampe mit ſalzſaurer, ſchwefelſaurer oder kohlenſaurer Soda, ſo erhält man eine ſtark leuchtende Weingeiſtflamme. Ein Tropfen Oehl auf den Docht gegeben, oder 0.15 Terpentinöhl dem Weingeiſte beigemiſcht, ertheilt der

Flamme die Intenſität eines Kerzenlichtes. Phosphor brennt in der Luft mit ſtarkem, aber dem Auge noch wohl erträglichen Lichte, im Sauerſtoffgaſe hingegen mit blendendem Glanze. Alle Bedingungen der erhöhten Lichtentwicklung ſcheinen beim Kalke zuſammenzuwirken, den man in eine mit Sauerſtoffgas angefachte Weingeiſt-Flamme oder in eine Knallgas-Flamme bringt; darum leuchtet er auch mit einem ungemein intenſiven Lichte. (Talbot und Blackadder in Zeitſchr. 1. 403. Drummond ebend. 1. 306. Pleiſchl ebend. 1. 390. Döbereiner in Schweigg. J. 62. 87. Pfaff in Pogg. Ann. 40. 547.)

Eine gewöhnliche Kerzenflamme hat unten einen blauen Rand, der in einen ſchwach leuchtenden Saum übergeht; gleich über dem Dochte befindet ſich ein kegelförmiger dunkler Raum und zwiſchen dieſem und jenem Saume der leuchtendſte Theil des Ganzen. Anders verhält es ſich bei einer Flamme, die mit einem Löthrohre angeblaſen wird. Dieſe hat gleich im Inneren einen langen, nicht leuchtenden Kegel, welcher ſich wie der äußere Saum der gewöhnlichen Kerzenflamme verhält. — Rumford hat über die Lichtſtärke brennender Körper viele intereſſante Verſuche angeſtellt. Nach dieſen braucht man, um durch eine beſtimmte Zeit eine gleiche Lichtſtärke zu erlangen, folgende Mengen des Brennmaterials dem Gewichte nach: Von einer gut gepußten Wachskerze 100, von einer gut gepußten Unſchlittkerze 101, von einer ungepußten Unſchlittkerze 129; von Baumöhl in einer Argand'ſchen Lampe 100, von demſelben in einer Lampe mit breitem Dochte 129, von Ripsöhl in einer gewöhnlichen Lampe 125, von Brennöhl in derſelben Lampe 120. Bei Kerzen kommt es auf die rechten Dimenſionen des Dochtes an; iſt dieſer zu kurz, ſo entſteht ein Abfließen der geſchmolzenen Maſſe und durch zu viel Schmelzen derſelben eine der Lichtentwicklung nachtheilige Wärmeconſumtion; iſt er zu lang, ſo erzeugt er Schatten, kühlt zu ſchnell ab, ſcheidet unverbrannte Kohle aus und vermindert ſo die Lichtſtärke. Hat eine Kerze mehrere Dochte, ſo müſſen dieſelben eine ſolche Entfernung von einander haben, daß die einzelnen Flammen nicht vollkommen geſchieden erſcheinen. Chriſtiſon und Turner haben mit Rumford's Photometer eine Reihe ſehr wichtiger Verſuche über das Gaslicht angeſtellt. Nach dieſen Verſuchen wird die Lichtſtärke eines Gaslichtes durch Verlängerung der Flamme bedeutend geſteigert, und zwar in einem größeren Verhältniſſe als die Gasconſumtion. Bei Gas aus Steinkohlen erhält man bei einer gleichen Gasconſumtion von Flammen, deren Länge 2, 3. 4. 5 Zoll beträgt, die Lichtſtärken 100, 109, 131, 150, 150 und für Gas aus Oehl für dieſelben Flammenlängen die Lichtintenſitäten 100, 282, 560, 582, 604, ſo daß alſo durch bloße Verlängerung der Flamme ohne größeren Gasaufwand die Lichtſtärke auf das 6fache geſteigert werden kann. Auch als man dem Gaſe mehrere in einem kreisförmigen Ringe liegende Ausflußöffnungen von beſtimmter Größe und Anzahl verſchaffte, war die Lichtſtärke größer, als wenn man eine einzige Oeffnung angebracht hatte, welche in derſelben Zeit die nämliche Gasmenge ausſtrömen ließ. Man konnte ſo ohne Vermehrung des Gasbedarfes die Lichtſtärke $1^1/_2$mal vergrößern.

468. Die Flamme eines brennenden Körpers hat eine oben zugeſpitzte Geſtalt, weil das zum Leuchten erhitzte Gas leichter iſt, als die atmoſphäriſche Luft, und daher in derſelben aufſteigt; nur

durch einen künſtlichen Luftſtrom kann man der Spitze des Flammenkegels eine andere Richtung geben (Löthrohrflamme). Ihre Größe richtet ſich nach der Menge des auf einmal entwickelten Gaſes und nach dem Zufluſſe von Sauerſtoffgas. An einem Gasbehälter kann man die Flamme nach Belieben vergrößern, indem man die Ausflußöffnung erweitert. Eine gewöhnliche Gasflamme brennt nur an der Oberfläche, das inwendige Gas kommt erſt zum Leuchten, wenn es die oberſte, äußere Flammengrenze erreicht. Davon überzeugt man ſich, wenn man eine ſolche Flamme durch ein Drahtnetz abſchneidet und von oben in ſie hineinſieht; denn man findet ſie in der Mitte dunkel und gleichſam mit Rauch erfüllt. Man kann ein Stückchen Phosphor mitten hinein halten, ohne daß es brennt; ſo wie man aber mit einem Löthrohre Luft hineinbläſt, beginnt das Gas im Inneren der Flamme zu leuchten, und der Phosphor fängt Feuer. Eine Flamme, durch welche ein Luftzug geht, wie bei der Argand'ſchen Lampe, bildet einen leuchtenden Ring. Die Flamme iſt nur durchſcheinend, keinesweges vollkommen durchſichtig; daher zwei Flammen bei weitem nicht ſo viel Licht nach einem Orte hinſenden, wenn ſie hinter einander ſtehen, als wenn ſie ſich neben einander befinden.

469. Die Farbe einer Flamme hängt von der Natur des Brenn- und Zündſtoffes, von der größeren oder geringeren Lebhaftigkeit des Verbrennens und von der Beimiſchung fremdartiger Beſtandtheile ab. Nach Brewſter gibt jeder unvollkommen brennende Körper gelbes Licht. Selten hat eine Flamme an allen Stellen einerlei Farbe, unten iſt faſt jede blau.

Phosphor, Zink, Arſenik brennen weiß, Selen azurblau, Sodaſalze gelb, Kaliſalze blaß violett, Kalkſalze ziegelroth, Strontianſalze karmeſinroth, Lithionſalze roth, Barytſalze blaß apfelgrün, Kupferſalze grün oder grünlichblau, Eiſenſalze weiß. Zu allen dieſen Verſuchen paſſen Chlorſalze am beſten. Man tränkt damit einen Docht oder miſcht ſie zu Weingeiſt. Schwefel brennt in atm. Luft mit bläulicher, in Sauerſtoffgas mit violetter, im oxydirten Stickgaſe mit gelblich rother Flamme. Weingeiſt, in welchem Borſäure oder ſalpeterſaures Kupfer aufgelöſt wurde, brennt grün, mit Bariumchlorid gelb, mit Strontiumchlorid roth, mit Kampher weiß; wird ein Stückchen Kalk auf den Docht gelegt, brennt er grün und roth Verbrennt man Weingeiſt von 0.835 ſpec. Gew. in einer Lampe ohne Docht, und geſtattet der Flamme eine Länge von $^1/_2$ Zoll, ſo erſcheint ſie völlig blau; bringt man aber die Länge der Flamme auf 1 — $1^1/_2$ Z., ſo erſcheint ſie beinahe weiß. Wird dieſer Weingeiſt ſtark gewäſſert und mittelſt eines Dochtes angezündet, ſo gibt er faſt lauter gelbes Licht. Eine gewöhnliche Gasflamme leuchtet mit ſchönem weißen Lichte, wenn ſie eine Länge von 1 — 2 Z. hat; reducirt man durch Verkleinerung der Ausflußöffnung dieſe Länge auf 2—3 L., ſo ſendet ſie faſt lauter blaues Licht aus. Brennt Oehl ohne Docht mit großer Flamme, ſo gibt es ein blaues Licht mit vielem Weiß, vermindert man den Oehlzufluß, ſo wird die Flamme blau mit einer gelben Stelle, bei fortgeſetzter Verminderung des Oehlzufluſſes wird ſie endlich ganz blau. Ein ſo eben ausgelöſchtes Talglicht zeigt im Dunkeln am Dochte einige Au-

genblicke ein ſchwaches Leuchten; eben ſo gibt Wachs oder Talg, auf heißes, aber nicht leuchtendes Eiſen geſtrichen, ein blaßblaues Licht, welches das ſchwache Verbrennen begleitet. Merkwürdig iſt die Aenderung einer Hydrogengasflamme, die ſie erleidet, wenn man Sauerſtoffgas durch dieſelbe leitet. Die Flamme des unter einem beſtimmten Drucke ausſtrömenden Waſſerſtoffgaſes iſt mehr oder weniger lang, coniſch, und ein ſchwacher weißer Lichtmantel umgibt den inneren, faſt lichtloſen Theil derſelben. So wie Sauerſtoffgas zutritt, zieht ſich die Flamme zurück; in der Nähe der Ausflußöffnung entſteht eine dunkelblaue Partie, die von einer ſcharf begrenzten, coniſchen, bläulichweißen Hülle umgeben iſt, welche ſelbſt wieder von einem violettbläulichen Saume begrenzt wird.

470. Woher beim Verbrennen die Wärme und das Licht komme, läßt ſich nach dem gegenwärtigen Zuſtande der Wiſſenſchaft noch nicht ausmitteln. Stahl nahm zur Erklärung dieſer Phänomene einen eigenen Stoff, das Phlogiſton an, von dem er vorausſetzte, daß ihn alle brennbaren Körper enthalten, daß er beim Brennen entweiche, und dadurch Licht und Wärme erzeuge. Lavoiſier meinte, das Verbrennen werde durch einfache Wahlverwandtſchaft vermittelt, indem nämlich der brennende Körper den Sauerſtoff der atm. Luft aufnimmt und dadurch die Wärme, wodurch jener als Gas exiſtiren konnte, frei macht. Mit der Wärme entwickelte ſich aus dem Sauerſtoffe auch das Licht. Allein es läßt ſich durch Rechnung nachweiſen, daß die frei gewordene Wärme mehr beträgt, als im Oxygengaſe enthalten ſeyn kann und der etwa beim Verbrennen vorgehenden Capacitätsänderung zuzuſchreiben iſt. Andere laſſen das Verbrennen durch doppelte Wahlverwandtſchaft vor ſich gehen, und nehmen demnach an, der Sauerſtoff verbinde ſich mit dem brennbaren Körper und der Wärmeſtoff des erſteren mit dem Lichtſtoffe des letzteren. Beſteht das Weſen der Wärme in Bewegung, ſo iſt die Frage, woher die beim Verbrennen entwickelte Wärme rührt, nicht ſchwer zu beantworten.

Sechstes Kapitel.

Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene.

471. Man erklärt ſich faſt allgemein die Erſcheinungen der Wärme durch Annahme eines Wärmeſtoffes. Die Schlußweiſe, durch welche man die Erklärung leiſtet, iſt ungefähr folgende: Angenommen, daß es einen Wärmeſtoff gebe, ſo muß er auch in Körpern von der niedrigſten Temperatur noch vorhanden ſeyn und in jedem Körper einen gewiſſen Grad von Expanſivkraft beſitzen, der von ſeiner Anhäufung und von der Größe der Anziehung abhängt, die zwiſchen ihm und dem Körper obwaltet. Je größer dieſe Anziehung iſt, deſto mehr wird ſeine Ausdehnſamkeit geſchwächt, deſto kleiner iſt alſo bei derſelben Wärmemenge die Temperatur des Körpers und deſto größer iſt deſſen Capacität. Nähert ſich einem warmen Körper ein anderer, in

welchem der Wärmeſtoff eine geringere Spannung hat, ſo wird er von einem in den anderen überſtrömen, bis er in beiden eine gleiche Ausdehnſamkeit beſitzt; deßhalb wird einer abgekühlt, der andere erwärmt. Die Geſchwindigkeit, mit welcher der Uebergang des Wärmeſtoffes von einem Körper in den andern geſchieht, muß nothwendig von dem Unterſchiede der Spannung des Wärmeſtoffes in beiden abhängen. Der mit einem Körper durch Anziehung verbundene Wärmeſtoff bewirkt durch Reaction eine Vergrößerung des Volums, welche, bei übrigens gleichen Umſtänden, mit der Menge der Wärme zunehmen muß, aber ihr nur da proportionirt iſt, wo ſie ein reines Reſultat der Wirkung des Wärmeſtoffes iſt. In feſten Körpern wird der Wärmeſtoff durch ſeine Expanſivkraft der noch überwiegenden Cohärenz entgegen wirken; durch Anhäufung des Wärmeſtoffes wird aber dieſe Kraft immer mehr geſchwächt, bis ſie ſo weit abgenommen hat, daß die Theile in eine Entfernung von einander kommen, bei welcher die Unterſchiede der Anziehung einzelner Stellen verſchwinden. Sobald dieſes erreicht iſt, fängt der Körper an zu ſchmelzen. Iſt er ganz tropfbar geworden, ſo braucht es doch noch eine neue Einwirkung des Wärmeſtoffes, um den expanſibeln Zuſtand zu erzeugen, weil dazu ein gewiſſes Uebergewicht der abſtoßenden Kraft des Wärmeſtoffes über die Anziehungskraft der kleinſten Theile der Körper erfordert wird.

472. Man ſieht hieraus, daß die Erklärung der meiſten Wärmeerſcheinungen aus dieſer Hypotheſe, im Allgemeinen genommen, nichts Schwieriges an ſich hat. Allein die Leichtigkeit, womit man mittelſt dieſer Annahme die Wärmephänomene ſelbſt dem gemeinen Verſtande begreiflich machen kann, iſt offenbar das Einzige, wodurch ſich dieſe Hypotheſe empfiehlt. Man darf ſich auch darauf nicht viel zu Gute thun; denn man findet bei der Erklärung der Wärmephänomene immer nur jene Geſetze wieder, die man bei der qualitativen Annahme des Wärmeſtoffes ſchon vorausgeſetzt hat. Abgeſehen davon, daß man den Wärmeſtoff noch nicht iſolirt darſtellen konnte, daß er nicht die Eigenſchaften anderer materiellen Dinge, z. B. Schwere, Undurchdringlichkeit ꝛc. zeigt, ſo reicht er nicht einmal zur Erklärung aller Wärmephänomene aus; denn man erklärt daraus ſchwer oder gar nicht: 1) wie ſich die Wärme unter allen Temperaturen ſtrahlend fortpflanzen könne und von Körpern ausſtröme, die eine geringere Temperatur haben, als die Umgebung. Man kann ſich überhaupt von dem Zuſtande einer ausdehnſamen Flüſſigkeit, deren Fortpflanzung ſtrahlend geſchehen ſoll, wie dieſes mit dem Wärmeſtoffe ſeyn müßte, keine klare Vorſtellung machen, und es ſcheint, als läge in dieſer Annahme ſelbſt ein Widerſpruch, indem man Fortpflanzung der Bewegung (in Strahlen) mit dem Fortſchreiten der bewegten Maſſe verwechſelt; 2) wie ſich die Wärme, die bei der Annahme eines Wärmeſtoffes durch eine Anziehung von Seite der Körper in ihnen feſtgehalten wird, durch den leeren Raum fortpflanzen könne, der doch nicht mit einer neuen Kraft die des Körpers aufhebt. Man kann nicht einwenden, daß, was wir leeren Raum nennen, doch mit feinen Stoffen,

z. B. mit Aether erfüllt ſey, weil die Vertheidiger des Wärmeſtoffes meiſtens den Aether leugnen. Geben ſie dieſen zu, ſo bedarf es keines andern Stoffes mehr zur Erklärung der Wärmephänomene; 3) wie ein Körper ununterbrochen mit gleicher Stärke glühen und dabei immerfort Wärme in die Umgebung ſenden könne, welches beſonders nach Rumford's Verſuchen beim Reiben und auch bei Metallen geſchieht, welche durch Elektricität glühend gemacht werden. Dieſe Schwierigkeit kann man nicht etwa durch Annahme einer Verminderung der Capacität erklären, denn bei Rumford's berühmtem Verſuche mit den Kanonen hatten die Bohrſpäne eine mit der ganzen Maſſe des Metalles gleiche Capacität; auch nicht dadurch, daß man annimmt, der Wärmeſtoff werde dem glühenden Körper von anderen wieder gleich zugeführt; denn dieſe Annahme ſtreitet gegen ein anerkanntes Naturgeſetz, vermöge welchem nur das kältere vom wärmeren Wärme gewinnt und nicht umgekehrt. 4) Wird ein eigener Wärmeſtoff angenommen, ſo kann eine Erwärmung nur die Folge des Freiwerdens dieſes Stoffes oder einer Capacitätsverminderung ſeyn. Allein wie will man da die Wärmeerregung beim Reiben erklären, wo Wärme erzeugt, nicht bloß ſchon vorhandene entwickelt wird.

473. Die Wärmeerſcheinungen haben mit den Phänomenen des Lichtes und des Schalles ſo viel Uebereinſtimmendes, daß man ſchon dadurch auf die Vermuthung geführt wird, es ſeyen die ihnen zum Grunde liegenden Urſachen von einerlei oder doch von ähnlicher Natur. Mit dem Lichte ſtimmt die Wärme darin überein, daß beide ſich häufig begleiten, ſich ſtrahlend fortpflanzen, dieſelben Modificationen erleiden und dieſelben Geſetze befolgen (427); zwiſchen Schall und Wärme findet darin Uebereinſtimmung Statt, daß beide durch Erſchütterung der Molecüle erregt werden, ſich ſtrahlend fortpflanzen, und auf ihrem Wege unter denſelben Umſtänden ähnliche Veränderungen erfahren. Einem Schallſtrahl iſt ein Wärmeſtrahl, einem tönenden Körper ein warmer, einem mittönenden ein erwärmter analog. Es hat daher die Annahme, die Wärme beſtehe in Vibrationen gleich dem Lichte und dem Schalle ſchon vorhin vieles für ſich. Um aber in dieſe Anſicht die nöthige Klarheit zu bringen, muß erſt der Träger der Wärmeſchwingungen, die Art der Vibrationen, der Unterſchied zwiſchen ſtrahlender und geleiteter Wärme, ferner die Bedeutung der Begriffe von Temperatur, Wärmemenge, Wärmecapacität, Wärmefortpflanzung, Latent- und Freiwerden der Wärme ꝛc. feſtgeſetzt werden.

474. Da ſich die Wärmeſtrahlen im ſogenannten leeren Raume fortpflanzen, ſo können die ihnen zum Grunde liegenden Schwingungen kein wahrnehmbar materielles Subſtrat haben, und man muß den Aether eben ſo als Grundlage der Wärmeſchwingungen anſehen, wie man ihn als Baſis der Lichtvibrationen annimmt. Die Uebereinſtimmung zwiſchen den optiſchen und thermiſchen Schwingungen geht aber noch weiter; denn das Daſeyn polariſirter Wärmeſtrahlen beweiſet, daß die letzteren ſo wie die erſteren transverſale Schwingungen ſeyen. Eine weitere Verfolgung der Analogien zwiſchen Licht- und Wärme-

ſtrahlen macht es wahrſcheinlich, daß überhaupt die denſelben zum Grunde liegenden Vibrationen ganz dieſelben ſind und ſich nur in der Länge der dazu gehörigen Welle und in der Stärke von einander unterſcheiden. Es liefern uns nämlich ſolche Vibrationen des Aethers Lichtſtrahlen, welche die Netzhaut des Auges in beſtimmte Schwingungen zu verſetzen im Stande ſind, und jene Wärmeſtrahlen, welche den Molekülen der Körper, die ſie treffen, eine beſtimmte Bewegungsgröße mittheilen. Um aber die eine oder die andere Wirkung hervorzubringen, dazu braucht es nicht ſo ſehr Schwingungen verſchiedener Natur, als vielmehr ſolche, welche zur Elaſticität der Netzhaut oder der materiellen Theile der Körper in einer beſtimmten Relation ſtehen. Auf ganz gleiche Weiſe verhält es ſich mit den chemiſch wirkenden Strahlen. Als ſolche wirken alle jene, welche von Vibrationen herrühren, die Körpertheile ſo ſtark zu erſchüttern vermögen, daß daraus eine Trennung der Theile hervorgeht. Es iſt daraus wohl begreiflich, wie ein Strahl zugleich Licht-, Wärme- und chemiſcher Strahl ſeyn kann, daß er leichter Wärme als Licht oder eine chemiſche Wirkung zu erzeugen vermöge und daß er beim Durchgange durch einen Körper ſo modificirt werden könne, um fernerhin kein Licht oder keine chemiſche Wirkung mehr hervorzubringen und umgekehrt. Geleitete Wärme iſt dem Geſagten zu Folge das Reſultat der Größe der den Molekeln eines Körpers durch Aether-Schwingungen mitgetheilten, ſehr raſchen Bewegung dieſer Molekel. Die ſo angeregte Bewegung der wägbaren Stoffe theilt ſich dem in den Zwiſchenräumen befindlichen Aether mit und dieſer beſtimmt ſeinerſeits wieder andere materielle Theilchen zur Bewegung. So kommt es, daß ſich die Wärme im Innern eines auch nicht diathermanen Stoffes fortpflanzt. Dieſe Fortpflanzung (Wärmeleitung) beruht alſo auf einer inneren Strahlung, die wechſelſeitig zwiſchen den materiellen Theilen vor ſich geht, und ſelbſt die ſtationäre Temperatur zwiſchen dieſen Theilen iſt ein bewegliches Gleichgewicht, beruhend auf der Gleichheit der durch den Aether mitgetheilten Bewegungsgröße und der in derſelben Zeit Statt gefundenen Uebertragung der Bewegung an den Aether. Dieſe Fortpflanzung der Wärme durch Leitung iſt von der in diathermanen Stoffen Statt findenden, die nur im Aether vor ſich geht, weſentlich verſchieden und während die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der letzteren die der Fortpflanzung eines Impulſes zwiſchen Aethertheilen iſt, wird die Geſchwindigkeit der erſteren durch die zur Ausgleichung verſchiedener Bewegungsgrößen durch Wechſelwirkung nöthigen Zeit beſtimmt. Während nun die Bewegungsgröße die **Wärmemenge** gibt, beſtimmt die Schwingungsweite der Körpertheile die **Temperatur** derſelben. Ein Körper, der bei einer kleinen Schwingungsweite eine bedeutende Bewegungsgröße enthält, hat eine große **Wärmecapacität**. Verminderung der Schwingungsweite bei derſelben Bewegungsgröße vermindert die Schwingungsintenſität. Man ſagt dann, es werde Wärme **gebunden**. Im entgegengeſetzten Falle heißt es, es werde Wärme **frei**.

475. Eine weitere Anforderung, die man an dieſe Hypotheſe machen muß, iſt, daß ſie die Wirkungen der Wärme und ihren Urſprung aus den verſchiedenen bereits beſprochenen Quellen nachweiſe. Erſteres leiſtet ſie folgendermaßen: Wenn die Wärme in einer vibrirenden Bewegung beſteht, ſo muß der Nullpunct der Temperatur jener der völligen Abweſenheit einer ſolchen Bewegung ſeyn, und je größere Excurſionen die Körpertheilchen machen, deſto höher muß ihre Temperatur ſeyn. Es iſt aber für ſich klar, daß eine Vergrößerung der Schwingungsweite der Theilchen ohne Vergrößerung des Rauminhaltes des Ganzen nicht möglich ſey und ſomit iſt die Ausdehnung in der Wärme das nothwendige Ergebniß der vergrößerten Schwingungsamplitude. Daß die Theile kryſtalliſirter Körper nach verſchiedenen Richtungen auch in verſchiedenen Amplituden ſchwingen können und darum auch deren Ausdehnung von der Richtung abhängig ſeyn müſſe, iſt für ſich klar.

So lange dieſe Schwingungen innerhalb der Wirkungsſphäre der Molekularanziehung vor ſich gehen, bleibt der betreffende Körper feſt; ſo wie aber dieſe Grenze überſchritten wird und die Schwingungen über die Wirkungsſphäre dieſer Kraft hinaus gehen, erfolgt ein Uebergang aus dem feſten Zuſtand in den flüſſigen. Dieſer neue Zuſtand wird dann tropfbar flüſſig ſeyn, wenn die Ueberſchreitung der benannten Grenze noch durch einen äußern Druck gewältiget wird, hingegen ein ausdehnſamer, wenn dazu der äußere Druck nicht hinreicht oder gar kein ſolcher vorhanden iſt.

Beim Uebergange von dem feſten Zuſtande in den tropfbaren oder von dieſem in den ausdehnſamen wird auch zugleich die Schwingungsanzahl, die in einer beſtimmten Zeit vollbracht wird, vergrößert. Dieſes kann bei gleicher Bewegungsgröße nur auf Koſten der Schwingungsweite geſchehen und darum muß bei dieſer Formänderung Wärme gebunden werden. Im entgegengeſetzten Falle wird eben ſo Wärme frei werden müſſen.

476. Aus der ſo eben aufgeſtellten Anſicht läßt ſich auch der Urſprung der Wärme in jedem einzelnen Fall ungezwungen nachweiſen. Reibung erzeugt Wärme, weil ſie die Theile der Körper ſo gut erſchüttert, wie eine einfallende Aetherwelle, ein Stoß kann dasſelbe thun, Druck aber die Capacität vermindern. Sonnenlicht führt Wellen mit ſich, die weniger die Netzhaut afficiren, als ſie die Körpertheile zu erſchüttern vermögen, die demnach als Wärmeſtrahlen auftreten. So wie ſie ihre bewegende Kraft den Körpertheilen abtreten, ſcheinen ſie ſelbſt vernichtet (abſorbirt). Die chemiſchen Wirkungen ſind immer mit Atomen-Bewegungen verbunden. Wird durch ſie die ſchon vorhandene Bewegung der Körpertheile erhoht, ſo erzeugen ſie Wärme, widrigen Falls Kälte. Verbindet man mit der ſo eben behandelten hypothetiſchen Anſicht der Wärme jene, welche Seite 429 und 536 über das Weſen der Elektricität und des elektriſchen Stromes aufgeſtellt worden iſt; ſo ſieht man ein wie es komme, daß mit einem ſolchen Strome immer Wärme-, oft auch Lichtentwicklungen auftreten. Ein elektriſcher Strom beſteht nach dieſer Anſicht in der Fortpflanzung

einer Bewegung der Molekel von der Lage des natürlichen Gleichgewichtes in jene, wo die Molekel ihre gleichartigen Pole nach derſelben Gegend hinkehren und umgekehrt. Da nun dieſes Bewegungen ſind, wie ſie zur Erzeugung der Licht- und Wärmephänomene nöthig ſind, ſo müſſen letztere Acceſſorien eines elektriſchen Stromes ſeyn. Weil aber jede hinreichend ſchnelle Bewegung der Körpertheile Licht und Wärme, aber noch nicht einen elektriſchen Strom gibt, indem dieſer überdieß noch eine beſtimmte relative Lage der Theile fordert; ſo darf man ſich nicht wundern, daß Licht und Wärme nicht nothwendig einen elektriſchen Strom hervorbringen, wohl aber daß ein elektriſcher Strom Licht und Wärme erzeuge. (Pogg. Ann. 56. 574; 57. 300. Mohr in Zeitſch. 5. 419.)

Ueber Wärme überhaupt ſiehe: Théorie analytique de la chaleur par M. Fourier. Paris 1822. Traité math. de la chaleur par S. D. Poisson. Paris 1838. Théorie de la chaleur et de ses applications aux arts et aux manufactures. 2 Tom. par E. Peclet. Paris 1843. A Treatise on heat by D. Lardner. London 1833. An outline of the sciences of heat and electricity. By T. Thomson. London 1841. Nuovi trattati sopra il calorico, l'elettricità ed il magnetismo del Cav. L. Nobili. Modena 1838.

Naturlehre.

Dritter Theil.

Naturerſcheinungen im Großen.

Einleitung.

1. So wie man durch Vergleichung der Naturerſcheinungen zur Kenntniß der Naturgeſetze geleitet wird und alſo jene vorzugsweiſe zur Entdeckung dieſer gebraucht werden; eben ſo kann man auch die einmal klar erkannten Naturgeſetze wieder benützen, um daraus Naturerſcheinungen zu erklären. Vorzüglich intereſſant iſt dieſes, wenn man die bereits bewieſenen Geſetze der Sinnenwelt auf die Erſcheinungen anwendet, welche im Großen auf unſerer Erde, in der Atmoſphäre und an den Himmelskörpern wahrgenommen werden. Dieſe Erſcheinungen, auf ihre letzten Gründe zurückgeführt, machen den Gegenſtand der angewandten Naturlehre aus, die hiernach in die phyſiſche Geographie, Meteorologie und Aſtronomie zerfallt, wovon es die erſte mit der Beſchaffenheit und den Veränderungen der Erde, die zweite mit den Erſcheinungen in der Atmoſphäre, und letztere mit den Phänomenen an Himmelskörpern und ihrer Erklärung zu thun hat.

2. Die Fortſchritte, welche man bis jetzt in dieſen ſehr wichtigen Zweigen des menſchlichen Wiſſens gemacht hat, ſind ſehr ungleich. Die Aſtronomie hat ſich auf den Flügeln der mathematiſchen Analyſe zu einer Vollkommenheit erhoben, bei der ein vollſtändiger Unterricht allein einen Lehrcurs von mehreren Jahren ausfüllen könnte, aber Zuhörer erfordert, die mit allen Kunſtgriffen der Mathematik ausgerüſtet ſind; die phyſiſche Geographie und Meteorologie liegen hingegen faſt noch in der Wiege, erfreuen ſich aber gegenwärtig an der Hand einer nüchternen Beobachtung und unter dem Schutze der reinen Phyſik eines ſehr erfreulichen Wachsthums und Gedeihens.

Erſter Abſchnitt.

Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel.

Himmelskörper überhaupt.

3. Dem unbefangenen Beobachter erſcheint die Erde im ſogenannten platten Lande als eine horizontale Ebene und der Himmel als ein Gewölbe, das auf der Erde aufliegt und an welchem ſich die Sonne, der Mond und das unzählige Heer der Sterne befinden. Alle dieſe Himmelskörper ſcheinen von uns gleich weit entfernt zu ſeyn, weil uns alle Mittel, durch welche wir die Entfernungen irdiſcher Gegenſtände nach bloßem Augenmaße zu beurtheilen pflegen, verlaſſen II. 366, und wir daher keinen Grund haben, einen näher als den andern anzunehmen. Darum nennt man jene hohle Kugel, in der wir uns zu befinden glauben, die Himmelskugel oder Himmelsſphäre.

4 Wer bloß nach ſinnlichem Scheine urtheilt, könnte verleitet werden, zu meinen, eine Hälfte des Firmaments werde von der Sonne, die andere von den Sternen eingenommen, weil das freie Auge nach Sonnenaufgang gewöhnlich keinen Stern ſieht. Allein ſchon die ſehr gemeine Erfahrung, daß die Flamme einer brennenden Kerze in einem von der Sonne ſtark beſchienenen Orte nicht ſichtbar iſt, kann auf die Vermuthung führen, daß wir bei Tage die Sterne bloß wegen des unzählige Male ſtärkeren Sonnenlichtes nicht ſehen; darin wird man noch mehr durch den Umſtand beſtärkt, daß am Morgen kurz vor Sonnenaufgang noch der ganze Himmel mit Sternen überſäet iſt, daß dieſe bei heranrückender Dämmerung immer mehr erblaſſen, und endlich daß ſie nach Sonnenaufgang kaum dem freien Auge bemerklich bleiben. Zur vollen Gewißheit iſt dieſe Wahrheit dadurch gebracht, daß man mittelſt eines guten Fernrohres ſelbſt bei hellem Tage Sterne ſieht.

5. Von der Sonne und dem Monde weiß Jedermann, daß ſie an einer Himmelsgegend, die man Aufgangsgegend, Orient, Oſt nennt, auf- und an der entgegengeſetzten, welche Abend, Untergang, Occident, Weſt heißt, untergehen; bei einiger Aufmerkſamkeit bemerkt man daſſelbe auch an Sternen und nur wenige

ſind von dieſer Regel ausgenommen und ſelbſt von dieſen wird die Folge lehren, daß die Ausnahme nur ſcheinbar ſey. Es iſt demnach dieſe Bewegung von Oſt nach Weſt dem ganzen Himmel gemein. Sie heißt tägliche Bewegung, weil von einem Auf- oder Untergange bis zum nächſt folgenden ein Tag verfließt.

6. Bei weitem die meiſten Sterne gehen immer an demſelben Puncte des Horizontes auf und unter und behalten beſtändig dieſelbe Lage gegen einander bei; ſie heißen Fixſterne (stellae fixae). Nur eine kleine Anzahl Sterne geht faſt täglich an einem andern Puncte der Oſtgegend auf, und dieſe ändern ihre Lage ſowohl gegen einander als gegen die Fixſterne, doch kehrt jeder derſelben nach einer beſtimmten Zeit wieder in dieſelbe Lage gegen die Fixſterne zurück; dieſe heißen Irrſterne, Planeten (planetae). Dieſen ähnlich verhalten ſich die Cometen (cometae), die übrigens als Seltenheiten am Himmel erſcheinen und oft ſchon durch ihr Aeußeres ſich von den Planeten unterſcheiden, indem ſie meiſtens einen lichten Schweif oder Ring um ſich haben. Die Sonne bietet in Betreff ihrer Bewegung Erſcheinungen dar, welche mit den an Planeten beobachteten völlig übereinſtimmen; die Folge wird aber lehren, daß ſie doch nicht zu den Planeten zu zählen iſt, weil dieſe Uebereinſtimmung nur ſcheinbar iſt. Die Planeten und Cometen müſſen daher, außer der täglichen Bewegung, die ſie mit dem ganzen Himmel gemein haben, auch noch eine eigene haben. Man nennt ſie ihre jährliche Bewegung.

7. Man kennt jetzt 11 Planeten: Merkur ☿, Venus ♀, die Erde ♁, Mars ♂, Ceres ⚳, Pallas ⚴, Juno ⚵, Veſta ⚶, Jupiter ♃, Saturn ♄ und Uranus ♅, nebſt 18 Nebenplaneten oder Begleitern der Hauptplaneten, wovon die Erde einen, Jupiter vier, Saturn ſieben und Uranus ſechs hat. Der vorletzte Planet iſt überdieß noch mit einem Ringe umgeben, der nach Einigen aus zwei, nach Anderen aus mehreren concentriſchen Theilen beſteht.

Uranus ward 1781 von Herſchel, Ceres 1801 von Piazzi, Pallas 1802 von Olbers, Juno 1804 von Harding, Veſta 1807 von Olbers entdeckt, die übrigen waren ſchon den Alten bekannt.

Zweites Kapitel.

Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre.

8. Da es bei der Beurtheilung einer Bewegung vor Allem auf den Standpunct ankommt, von dem man ſie beobachtet; ſo muß zuerſt der Ort der Erde in der Himmelsſphäre näher beſtimmt werden. Zu dieſem Behufe lehrt die Erfahrung, daß der gegenſeitige Abſtand zweier fixen Puncte an der Himmelsſphäre, z. B. zweier Fixſterne gleich groß erſcheint, dieſe Puncte mögen eben auf- oder untergehen oder ſich in

was immer für einer Lage zwiſchen dem Auf- und Untergange befinden. Daher kann jeder Beobachtungsort, für welchen dieſes Statt findet, als Mittelpunct der Himmelsſphäre angeſehen werden. Da dieſes aber von jedem Orte auf der ganzen Erdoberfläche gilt und zwei Fixſterne überall einen gleichen Abſtand von einander zu haben ſcheinen; ſo muß auch jeder Punct der Erde als Mittelpunct der Himmelsſphäre angeſehen werden können, d. h. die Größe der Erde muß gegen die Größe der Himmelsſphäre verſchwinden.

9. Jeder Punct der Himmelsſphäre beſchreibt vermög der täglichen Bewegung innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis. Iſt die Lage dieſes Kreiſes beſtimmt und der Ort eines Sternes in dieſem Kreiſe zu verſchiedenen Zeiten bekannt, ſo iſt die tägliche Bewegung dieſes Sternes gegeben. Zum Behufe der Beſtimmung der Lage eines Kreiſes und eines Ortes in demſelben muß man, im Einklange mit dem gewöhnlichen Verfahren der Geometrie, jeden Punct des Himmels auf ſo viele Coordinaten beziehen, als zur völligen Beſtimmung der Lage deſſelben erforderlich ſind. Weil hier alle Puncte gleichſam an der Himmelsſphäre erſcheinen, mithin dieſe ſelbſt ſchon eine Coordinate erſetzt, ſo bedarf man nur noch zweier Ebenen, oder weil dieſe die Himmelsſphäre in Kreiſen ſchneiden, zweier Kreiſe. Dieſe Ebenen oder Kreiſe wird man am beſten durch die tägliche Bewegung ſelbſt beſtimmen. Wie dieſes geſchieht, iſt nun zu zeigen.

10. Stellt ſich der Beobachter ſo, daß ſeine rechte Seite nach Oſt, ſeine linke nach Weſt gerichtet iſt; ſo ſieht er nach derjenigen Gegend hin, welche Mitternacht, Nord genannt wird, und kehrt den Rücken der Mittagsgegend, Süd, zu. Betrachtet man die Sterne in der nördlichen Himmelsgegend, ſo bemerkt man, daß einige nie untergehen, ſondern innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis über dem Horizonte beſchreiben. Dieſer Kreis iſt deſto größer, je näher der Stern bei ſeiner tiefſten Stellung dem Geſichtskreiſe kommt. Man nennt ſolche Sterne Circumpolarſterne. Zunächſt auf dieſe mehr gegen Süden zu folgen Sterne, die zwar keine Circumpolarſterne mehr ſind, deren ſichtbarer Bahn aber nur wenig zu einem ganzen Kreiſe fehlt; je weiter ſie aber gegen Süden zu liegen, ein deſto größeres Stück fehlt ihrer Bahn zu einem ganzen Kreiſe, bis man auf ſolche kommt, die nur einen halben Kreis über dem Horizont beſchreiben. Noch mehr gegen Süden befindliche legen eine weniger als einen Halbkreis betragende Bahn zurück, und endlich trifft man ſolche, deren Bahn nur einen ſehr kleinen Theil eines ganzen Kreiſes ausmacht. Reiſet man weiter gegen Norden, ſo bemerkt man, daß Sterne, die bei uns nur kurze Zeit unter dem Horizonte verweilen, zu vollkommenen Circumpolarſternen werden, während andere, die nach Süden zu liegen und in unſeren Gegenden nur kurze Zeit über dem Horizonte bleiben, ganz unſichtbar werden. Reiſet man in ſüdlichere Länder, ſo erfährt man das Gegentheil; da verſchwinden nämlich nördlich liegende Sterne ganz und ſüdlich liegende, in unſern Gegenden ganz unſichtbare, werden ſichtbar; ja in Südamerika und in vie-

len andern ſüdlichen Gegenden ſind Sterne Circumpolarſterne, die bei uns gar nie aufgehen. Aus allem dieſen kann man den Schluß ziehen, daß alle Sterne, ſie mögen uns als Circumpolarſterne erſcheinen oder nicht, einen ganzen Kreis beſchreiben, daß aber ein Theil der Bahn mehrerer Sterne unter dem Horizont liegt. Dieſe ſind es, die auf- und unter gehen.

11. Weil die Fixſterne immer in derſelben Lage gegen einander bleiben, ſo müſſen ſie bei der täglichen Bewegung Kreiſe beſchreiben, deren Ebenen mit einander parallel ſind und die deßhalb Parallelkreiſe heißen. Die ganze Bewegung geſchieht um eine gemeinſchaftliche Linie, welche die Weltaxe (Himmelsaxe) heißt und in unſeren Gegenden gegen den Horizont geneigt erſcheint. Die Puncte der Himmelsſphäre, welche die Axe trifft, heißen die Pole, und zwar der gegen Norden liegende, der Nordpol, der andere der Südpol. Bei uns liegt nur der Nordpol über dem Horizonte, und zwar, wie natürlich, in der Nähe desjenigen Sternes, der den kleinſten Parallelkreis beſchreibt und deßhalb auch Polarſtern genannt wird. Der größte Parallelkreis heißt Aequator, der Punct am Himmel, den die durch den Scheitel eines Beobachters gehende, verticale Linie trifft, heißt Zenith, der ihm gerade entgegengeſetzte Nadir. Eine durch das Zenith und die Pole gehende Ebene wird Mittagsebene genannt. Sie theilt den Bogen, den die Sterne über dem Horizonte beſchreiben, in zwei gleiche Theile, und in ihr haben ſie den größten und kleinſten Abſtand vom Horizont, d. i. die größte und kleinſte Höhe. Iſt ein Geſtirn im Meridiane, ſo ſagt man, es culminire. Der Durchſchnittspunct des Horizontes und der Mittagsebene gegen Süden heißt der Südpunct. Sonſt heißt jeder größte Kreis, welcher durch die beiden Pole geht, ein Abweichungs-Kreis. Eine Ebene, welche durch den Mittelpunct der Himmelsſphäre geht nnd mit dem Aequator einen Winkel von $23^1/_2{}^\circ$ einſchließt, heißt Ekliptik, und ein auf der Ekliptik ſenkrechter und durch einen Pol derſelben gehender Kreis wird Breitenkreis genannt. Die Ekliptik ſowohl als die Aequatorialebene ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen und dieſe beiden Kreiſe ſchneiden ſich ſelbſt wieder in zwei Puncten, die man Knoten nennt. Einer davon heißt Frühlingsnachtgleichepunct, der andere Herbſtnachtgleichepunct. Sonſt wird der Frühlingsnachtgleichepunct auch der aufſteigende Knoten genannt und mit ☊ bezeichnet, der Herbſtnachtgleichepunct aber heißt der abſteigende Knoten und führt das Zeichen ☋. Der durch den Frühlingsnachtgleichepunct gehende Abweichungskreis wird als der erſte Abweichungskreis angeſehen. Eine auf dem Horizonte ſenkrechte Ebene heißt Verticalebene. Sie ſowohl als der Horizont ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen. Der Horizontalkreis führt den Namen Azimuthalkreis.

Stellt (Fig. 380) C den Ort eines Beobachters vor, CZ die durch C gehende Verticale, Z ſein Zenith, H h den Horizont, P den Nordpol,

p den Südpol, Pp die Weltaxe, Aa eine durch C gehende, auf Pp ſenkrechte Ebene; ſo iſt Aa die Ebene des Aequators, PapA die des Meridians, und die mit Aa parallelen Kreiſe Bb, Dd, Ee, Ff, Gg, Kk, Ll, Parallelkreiſe, wovon Ff und Ee ganz über dem Horizonte liegen, während andere ſolche Kreiſe vom Horizonte geſchnitten werden, ſo daß ein Theil über, der andere unter dem Horizonte liegt. Erſtere Theile heißen Tagbögen, letztere Nachtbögen. Mm iſt die Ekliptik, V der Frühlingsnachtgleichepunct, PN ein Stück eines Breitenkreiſes, HPh iſt zugleich ein Verticalkreis. Mehrere dieſer Kreiſe, wohl auch alle, kann man an einer Ringkugel oder an einer künſtlichen Himmelskugel vorſtellen.

12. Nach dieſen vorläufigen Erklärungen kann man nun zur Beſtimmung der Kreiſe ſchreiten, auf welche man einen zu beſtimmenden Punct am Himmel bezieht. Solche Kreiſe ſind: 1) Ein Abweichungskreis und der Aequator oder 2) ein Verticalkreis und der Horizont (Azimuthalkreis) oder endlich 3) ein Breitenkreis und die Ekliptik.

13. Den genaueſten Beobachtungen gemäß iſt die tägliche Bewegung eine gleichförmige; daher müſſen die zwei Theile eines Parallelkreiſes, welche zu beiden Seiten des ihn ſchneidenden Meridians liegen, in gleichen Zeiten zurückgelegt werden. Stellt man daher ein Fernrohr, welches ſich um eine horizontale Axe drehen kann, ſo daß ein in der Axe des Rohres vertical geſpannter, ſehr feiner Faden in einer Ebene liegt, welche die Bahn eines Circumpolarſternes in zwei Theile theilt, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden; ſo bewegt ſich dieſes Fernrohr im Meridiane und dieſer iſt daher ſeiner Lage nach bekannt, wenn man es dahin gebracht hat, ein Fernrohr ſo zu ſtellen. Ein Fernrohr, wie das genannte, heißt ein Mittagsrohr oder Paſſageinſtrument und ſpielt in der practiſchen Aſtronomie eine große Rolle. Im Geſichtsfelde dieſes Fernrohres ſind mehrere ſehr feine Fäden von Spinnen oder von Platin ausgeſpannt, wovon einer horizontal ſteht, während die übrigen eine verticale Lage haben. Einer von dieſen befindet ſich genau in der Ebene des Meridians, die anderen ſind in gleichen Abſtänden von dieſem zu beiden Seiten angebracht. Mittelſt eines eingetheilten Kreisbogens kann man auch den Winkel beſtimmen, den die Axe des Rohrs mit dem Horizonte macht. In der Mittagsebene liegt natürlich die Weltaxe und letztere iſt daher in der Mittagsebene durch den Winkel gegeben, den ſie mit dem Horizonte macht. Man nennt ihn die Polhöhe. Er iſt gleich der halben Summe aus der größten und kleinſten Höhe eines Circumpolarſternes. In Fig. 380 iſt PCh die Polhöhe und wird durch den Meridianbogen Ph gemeſſen, ferner Fh die größte, fh die kleinſte Höhe eines dem Pole P nahen Sternes. Aber $Pf = \frac{Ff}{2}$, und daher $Ph = Pf + fh = \frac{Ff}{2} + fh = \frac{Ff + 2fh}{2} = \frac{Fh + fh}{2}$.

Iſt einmal die Polhöhe bekannt, ſo braucht man zur Beſtimmung der Lage des Aequators nur den Winkel zu kennen, den dieſer mit dem Ho-

rizonte macht. Er heißt die Aequatorshöhe und iſt das Complement der Polhöhe. In Fig. 380 ſtellt ACH dieſen Winkel vor, für welchen man hat: $ACH = hCa = PCa - PCh = 90° - PCh$. Es iſt demnach der Aequator und daher auch jeder darauf ſenkrechte Kreis durch das Vorausgegangene beſtimmt. Die Beſtimmung einer horizontalen und einer verticalen Ebene iſt für ſich klar. Von der Beſtimmung der Ekliptik wird in der Folge die Rede ſeyn.

14. Da nun die Kreiſe beſtimmt werden können, auf welche man einen Punct am Himmel zu beziehen pflegt, ſo hält es nicht ſchwer, dieſe Beziehung ſelbſt zu machen. Man kann einen Punct als beſtimmt anſehen, wenn man ſeinen Abſtand von zwei der vorhergehenden zuſammengehörigen Ebenen (Kreiſen) kennt. Es iſt aber dieſer Abſtand nicht als gerade Linie, ſondern als Kreisbogen zu verſtehen. Weil nun von den zwei Kreiſen, durch die man nach dem Vorhergehenden einen Punct beſtimmen kann, einer auf dem anderen ſenkrecht ſteht; ſo wird ſtets der Abſtand eines Punctes von einem dieſer Kreiſe durch einen Bogen des anderen gemeſſen werden. Der Abſtand eines Punctes vom Aequator heißt ſeine Abweichung, der Abſtand vom erſten Abweichungskreiſe ſeine gerade Aufſteigung. Die Abweichung iſt nördlich oder ſüdlich, je nachdem ſich der fragliche Punct in der nördlichen oder ſüdlichen Halbkugel befindet. Der Abſtand eines Punctes vom Horizonte heißt deſſen Höhe, der Abſtand vom Höhenkreiſe, welcher durch den Südpunct geht, ſein Azimuth. Der Abſtand von der Ekliptik heißt die Breite, der Abſtand vom Breitenkreiſe, der durch den Frühlingsnachtgleichepunct geht, ſeine Länge. Man kann jede dieſer Größen durch Beobachtung finden, aber auch aus zwei zuſammengehörigen, z. B. aus der Höhe und dem Azimuth zwei andere, z. B. Länge und Breite berechnen. Am gewöhnlichſten werden Höhe und Azimuth, und Abweichung und gerade Aufſteigung durch Beobachtung ausgemittelt.

15. Die Abweichung findet man, wenn man die Mittagshöhe des fraglichen Punctes beobachtet, und davon die Aequatorshöhe abzieht. Iſt z. B. B (Fig. 380) dieſer Punct, ſo iſt HB ſeine Mittagshöhe, HA die Aequatorshöhe und $BH - AH = BH$ ſeine Abweichung. Um die gerade Aufſteigung x zu beſtimmen, wird die Zeit t beobachtet, welche zwiſchen den Culminationen des Punctes, um den es ſich handelt, und des Frühlingsnachtgleichepunctes vergeht, und dann ſo geſchloſſen: Da in 24 Stunden 360° des Aequators durch den Meridian des Beobachtungsortes gehen; ſo müſſen in der Zeit t durch denſelben $x°$ gehen, und man hat $x = 15t$.

16. Höhe und Azimuth erfährt man am bequemſten mittelſt eines Theodolithes. Dieſer beſteht aus zwei concentriſchen, horizontalen Kreiſen, wovon der innere auf zwei verticalen, gleich hohen Stützen ein kleines Mittagsrohr und einen verticalen Kreis trägt. Stellt man dieſes Inſtrument ſo, daß der Nullpunct des horizontalen Kreiſes in den Meridian und zwar gegen Süden fällt, und der Nullpunct des verticalen mit der horizontalen Axe des Fernrohres in einer

lei Höhe liegt; ſo ſchneidet bei jeder anderen Lage des Fernrohres der Index am horizontalen Kreiſe das Azimuth, der am verticalen die Höhe jenes Punctes ab, den man in der Mitte des Geſichtsfeldes des Fernrohrs ſieht.

Drittes Kapitel.

Geſtalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung.

17. Es gibt viele Erſcheinungen, die ſich nicht anders erklären laſſen, als wenn man annimmt, daß die Erde nach allen Seiten convex ſey. Die vorzüglichſten dieſer Erſcheinungen ſind folgende: Wenn man von Weſt nach Oſt reiſet, ſo bemerkt man, daß die Sonne immer deſto früher aufgeht, je weiter man kommt; ja auf einer ſolchen fortgeſetzten Reiſe kommt man wieder an den Ort, von wo man ausging, zurück, ohne irgendwo umgekehrt zu ſeyn. Begibt man ſich von Süden weiter nach Norden, ſo erhebt ſich der Nordpol im Verhältniß zur Größe des zurückgelegten Weges, es werden immer mehrere Sterne Circumpolarſterne, während am ſüdlichen Himmel immer mehrere unter den Horizont zu ſtehen kommen und gar nicht mehr aufgehen. Wenn man ſich in einer großen Fläche, wie z. B. zur See einem Gegenſtande nähert, ſo wird dieſer nicht auf einmal ſichtbar, wie es ſeyn müßte wenn beſagte Fläche eben wäre, ſondern es erſcheint zuerſt der oberſte Theil deſſelben und nach Maßgabe der Annäherung werden immer weiter abwärts liegende Theile ſichtbar, bis er endlich in einer gewiſſen Entfernung ganz erſcheint, wo er dann bei weiterer Annäherung nur immer unter einem größeren Geſichtswinkel geſehen wird. Das Gegentheil findet Statt, wenn man ſich von einem Objecte ſucceſſive entfernt. Da verliert ſich zuerſt der Fuß deſſelben aus dem Geſichtskreiſe, dann der zunächſt daran grenzende Theil, bis er endlich ganz verſchwunden iſt.

Was es für eine Krümmung ſey, die der Erde zukommt, iſt durch alle dieſe Gründe noch nicht ausgemacht. Wie ſelbe aber immer beſchaffen ſeyn mag, ſo iſt doch ſo viel gewiß, daß ſie einer Kugel ſehr nahe kommt, weil der Erdſchatten bei Mondesfinſterniſſen immer kreisrund erſcheint. Berge und Erhabenheiten, die ſich auf ihrer Oberfläche befinden, können dieſes nicht umſtoßen, weil ſie gegen die Größe der Erde ganz verſchwinden, und ſelbſt die höchſte Gebirgskette der Erde ihr die Kugelform ſo wenig benimmt, als feiner Staub einem Globus von mehreren Schuhen im Durchmeſſer. Wir wollen darum die Erde vorläufig als Kugel betrachten, das Nähere über ihre Geſtalt aber dem Folgenden vorbehalten.

18. Die kugelförmige Erde müſſen wir uns frei im Weltraume ſchwebend denken, ſo daß ſich rings um ſie herum die übrigen Himmelskörper befinden. Die Erfahrungen der täglichen Bewegung deuten nun darauf hin, daß ſich entweder alle dieſe Körper in 24 Stunden in parallelen Kreiſen gleichförmig von Oſt nach Weſt um die Erde

bewegen, oder daß ſich die Erde ſelbſt von Weſt nach Oſt in derſelben Zeit gleichförmig um ihre Axe drehe. Der Sinn des Geſichtes kann hierin eben ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er einen den Fluß abwärts Schiffenden belehren kann, ob das Schiff abwärts oder die am Ufer befindlichen Gegenſtände aufwärts gehen. Es müſſen daher andere Gründe für die Wirklichkeit einer oder der anderen Bewegung ſprechen.

19. Schon der Umſtand, daß die Umwälzung eines einzigen, verhältnißmäßig ſehr kleinen Körpers den Erſcheinungen eben ſo genügt wie die Bewegung von Millionen unendlichmal größerer Maſſen, muß die Axendrehung der Erde wahrſcheinlich machen; aber noch mehr muß dieſe Wahrſcheinlichkeit ans Licht treten, wenn man zugleich die Entfernung dieſer Körper in Betracht zieht. Es iſt gewiß, daß der nächſte Fixſtern wenigſtens eine Entfernung von 23000 Millionen Erdhalbmeſſer oder gegen 2 Millionen Meilen von der Erde entfernt iſt. Geht er in 24 Stunden um die Erde, ſo muß er einen mehr als ſechsmal größeren Weg beſchreiben, und daher eine Geſchwindigkeit haben, welche die des Lichtes 6000mal übertrifft; eine noch größere Geſchwindigkeit müßte jenen zukommen, deren Entfernung von der Erde noch bedeutender iſt. Nimmt man eine Axendrehung der Erde an, ſo darf jeder Punct des Aequators nur 5400 geographiſche Meilen in 24 Stunden zurücklegen, wozu eine Geſchwindigkeit hinreicht, die nur wenig größer als jene des Schalles iſt. Zu dieſem kommt noch, daß die Planeten auch eine Axendrehung haben, daß dieſe ſogar bei der Sonne nicht fehlt. Warum ſoll gerade die Erde von dieſem Geſetze ausgenommen ſeyn?

Die Wahrſcheinlichkeit der Umdrehung der Erde wird durch die Betrachtung mechaniſcher Gründe zur völligen Gewißheit erhoben. Die kreisförmige Bewegung der Himmelskörper um die Erde könnte nur durch Centralkräfte hervorgebracht werden, deren Mittelpunct in der Erde liegen müßte. Was ſollte aber das für eine Kraft ſeyn, die, von der Erde ausgehend, im Stande wäre, ungeheure Maſſen mit ſo großer Geſchwindigkeit herumzutreiben? Wie ließe es ſich erklären, daß durch dieſe Kraft alle Körper, deren Entfernung von der Erde gewiß ſehr verſchieden iſt, in derſelben Zeit um ſie herumgeführt würden, und daß ihre wahre Geſchwindigkeit im Verhältniſſe der Entfernung wüchſe. Dieſe Kraft müßte mit der Entfernung wachſen, während alle anderen bekannten Naturkräfte deſto ſchwächer werden, je weiter ſich ihre Wirkſamkeit erſtreckt? wie wäre es möglich, daß gerade die Körper, welche im Aequator ſtehen, ſo große Kreiſe beſchreiben und daß dieſe Kreiſe gegen die Pole zu immer kleiner werden.

Wird die Bewegung der Erde als wirklich angenommen, ſo muß ſie ſich auch auf die Atmoſphäre erſtrecken. Die oberen Theile derſelben müſſen ſich ſchneller bewegen, als die unteren, und daraus muß folgen, daß ein frei fallender Körper etwas gegen Oſten von der verticalen Linie abweicht. Dieſes findet der Erfahrung zu Folge

wirklich Statt, wie vorzüglich Reich's neueſte Verſuche beweiſen. Man kann darum die Axendrehung der Erde für eine der beſtbewieſenen Wahrheiten halten.

20. Kommt nun der Erde Axendrehung zu, ſo beſchreibt jeder Punct derſelben einen Kreis, und nur zwei Puncte, die in einer durch den Erdmittelpunct gehenden, geraden Linie liegen, ſind von dieſer Bewegung ausgenommen. Dieſe Puncte ſind die Pole der Erde und zwar der in der Nordhälfte liegende der Nordpol, der entgegengeſetzte der Südpol. Die gerade Linie ſelbſt heißt die Erdaxe; die verlängerte Erdaxe ſtellt die Himmelsaxe vor. Demnach iſt letztere durch erſtere beſtimmt. Die Kreiſe, welche einzelne Puncte der Erde bei ihrer Axendrehung beſchreiben, ſind mit einander parallel und heißen daher mit Recht Parallelkreiſe der Erde. Der größte Parallelkreis iſt der Aequator der Erde. Die Ebene des Erdäquators fällt in die des Himmelsäquators, und dieſer wird, ſo wie die Weltaxe, durch die Lage der Erdaxe beſtimmt. Dieſe Kreiſe und Ebenen können nun dazu benützt werden, um auf ſie jeden Punct auf der Erde zu beziehen oder ihn zu beſtimmen, ähnlich dem Verfahren, durch welches man einen Punct am Himmel beſtimmt.

21. Die Kreiſe, auf welche man einen Punct auf der Erde bezieht, ſind der Aequator und jener Meridian, der für den erſten angenommen wird. Die Annahme des erſten Meridians iſt ganz willkürlich. Ptolomäus zog ihn durch eine der canariſchen Inſeln, als der äußerſten weſtlichen Grenze des damals bekannten Continents, und auch jetzt denken ſich noch viele Geographen den erſten Meridian durch die Inſel Ferro gezogen, oft aber ſieht man den durch ein ausgezeichnetes Obſervatorium gehenden Meridian als erſten an, wie z. B. der von Greenwich, von Paris, Berlin ꝛc. Der Abſtand eines Ortes vom Aequator heißt ſeine Breite, der Abſtand ſeines Meridians vom erſten Meridian ſeine Länge. Die Breite iſt eine nördliche oder ſüdliche, je nachdem ſich der Ort in der nördlichen oder ſüdlichen Halbkugel befindet. Die Länge heißt öſtlich oder weſtlich, je nachdem der Ort öſtlich oder weſtlich vom erſten Meridian liegt. Die Breite eines Ortes wird gemeſſen durch den Bogen ſeines Meridians, der zwiſchen ihm und dem Aequator liegt. Sie iſt immer der Polhöhe des Ortes gleich. Es ſey C (Fig. 381) der Mittelpunct der Erde, ApbB ein durch die Pole gehender Durchſchnitt derſelben, A ein Ort auf ihrer Oberfläche, AZ ſeine Verticale, AH ſein ſcheinbarer Horizont, p einer der Erdpole, P der entſprechende Pol am Himmel, Bb der Aequator der Erde, mithin ACB die Breite von A. Wegen der gegen die Himmelsſphäre verſchwindenden Größe der Erde kann man die Richtung AP′, nach welcher P von A aus geſehen wird, mit CP parallel annehmen und P′AH als die Polhöhe von A anſehen. Unter dieſer Vorausſetzung iſt $BCA = P'AH$, weil die Seiten dieſer Winkel auf einander ſenkrecht ſtehen.

Dieſer Satz ſetzt uns in den Stand, die Lage der Parallelkreiſe der Himmelsſphäre in jedem Orte von bekannter Polhöhe angeben zu können.

Alle im Aequator befindlichen Orte haben die Breite und daher auch die Polhöhe $= 0$; für dieſe liegt alſo die Erdaxe im Horizont, alle Parallelkreiſe ſtehen auf dem Horizonte ſenkrecht und werden von demſelben in zwei gleiche Theile getheilt. Daher gibt es da weder gegen Süden noch gegen Norden Circumpolarſterne und alle Sterne des Firmamentes bleiben 12 St. über dem Horizont. In den beiden Polen iſt die Breite, alſo auch die Polhöhe $= 90^\circ$; daher ſteht dort die Erdaxe auf dem Horizonte ſenkrecht, alle Parallelkreiſe ſind dem Horizont parallel, man ſieht nur die Sterne der einen Halbkugel und alle dieſe ſind Circumpolarſterne. In den Orten, die außer dem Aequator und den Polen ſich befinden, ſteht die Axe ſchief gegen den Horizont, und alle Parallelkreiſe haben eine ähnliche Lage, daher einige ganz über, andere ganz unter den Horizont fallen, wieder andere endlich Theils unter oder ober demſelben ſich befinden.

22. Die Länge eines Ortes wird gemeſſen durch den Bogen des Aequators, der zwiſchen dem Ortsmeridian und dem erſten Meridian enthalten iſt. Man findet dieſen Bogen nicht unmittelbar durch Beobachtung, ſondern muß ihn aus der Zeit berechnen, welche vergeht von der Culmination eines und deſſelben Sternes an dem fraglichen Orte und an jenem, durch welchen der erſte Meridian geht. Um dieſes einzuſehen bedenke man, daß ein Punct am Himmel, z. B. ein Firſtern vermöge der Axendrehung der Erde in 24 Stunden einen Kreis oder 360° zu beſchreiben ſcheine und daß dieſer Kreis in gleichförmiger Bewegung zurückgelegt werde. Vergehen alſo von der Culmination eines ſolchen Sternes an dem Orte des erſten Meridians bis zur Culmination deſſelben im fraglichen Orte t Stunden; ſo liegen zwiſchen den Meridianen beider Orte $360 \cdot \frac{t}{24} = 15\,t^\circ$ des Aequators und dieſe bezeichnen zugleich die geſuchte Länge. Es iſt klar, daß wenn auf ſolche Weiſe die Länge eines Ortes beſtimmt iſt, man nur den Längenunterſchied zwiſchen dieſem und irgend einem andern Orte zu finden brauche, um die Länge des letzteren zu kennen und daß man daher nicht immer wieder auf den erſten Meridian zurückzugehen brauche. Das Geſchäft der Längenbeſtimmung eines Ortes lauft daher auf eine Zeitbeſtimmung hinaus. An jedem Orte fängt man die Zeit mit der Culmination eines beſtimmten Punctes des Firmamentes zu zählen an und man hat demnach in einem öſtlich gelegenen an der Uhr eine ſpätere Stunde als an einem weſtlich gelegenen. Dieſer Zeitunterſchied ſelbſt gibt die eben erwähnte Größe t und mittelſt dieſer kann man die Längendifferenz berechnen. Deßhalb dienen zur Beſtimmung dieſer Differenz vorzüglich Uhren, die ſich ohne Störung ihres Ganges von einem Orte zum andern tragen laſſen, oder ſolche Phänomene, die in beiden Orten zugleich geſehen werden können, oder bei denen der Zeitunterſchied ihres Erſcheinens der Rechnung unterworfen werden kann, wie z. B. Feuerſignale, der Anfang und das Ende einer Mondesfinſterniß oder einer Verfinſterung der Jupiter-Trabanten, Sternbedeckung durch den Mond, die Lage bekannter Sterne gegen den Mond ꝛc.

Wiewohl die Beſtimmung der geogr. Länge und Breite für das feſte Land von der größten Wichtigkeit iſt, weil man dadurch manches ſchon den Alten bekannte Land der Lage und Größe nach näher zu beſtimmen vermochte und vielen neu entdeckten Ländern ihren Ort auf der Erdoberfläche genau anwies; ſo hat ſie doch für den Seefahrer noch größeren Vortheil, weil dieſer dadurch in den Stand geſetzt wird, den Ort ſeines Schiffes in jedem Augenblicke zu finden und daraus die Sicherheit ſeines Weges und die Zweckmäßigkeit ſeiner Richtung zu beurtheilen. Leider ſind zur See viele Mittel, die man auf dem feſten Lande zur Beſtimmung der Länge anwenden kann, faſt ganz unanwendbar, wiewohl man ſie gerade da am meiſten bedürfte. Daher muß man oft, wenn der Himmel bewölkt iſt, aus der bloß oberflächlich geſchätzten Geſchwindigkeit und Richtung des Schiffes die Länge des Ortes beurtheilen. Man begreift hieraus, wie wichtig für die Schiffahrt Uhren ſind, die den Schwankungen des Schiffes und den zur See ſtark einwirkenden äußeren Einflüſſen trotzen und einen regelmäßigen Gang bewahren. (Siehe: kurze Geſchichte der Bemühungen die Meereslänge zu finden, von Haſſenkamp. Rinteln, 1774. Zach, de vera longitudine et latitudine. Erfurt, 1790.)

23. Durch Angabe der Länge und Breite wird man in den Stand geſetzt, auf einer Kugel, welche die Erde im verjüngten Maßſtabe vorſtellt, alle Ortſchaften zu verzeichnen und Erdgloben zu verfertigen, wohl auch nach den Regeln der Projection Land- und Seekarten zu verzeichnen.

Die vorzüglichſten Projectionsarten für Landkarten ſind folgende:

1. Die orthographiſche, welche entſteht, wenn man ſich an einem Puncte der Erde B (Fig. 382) eine berührende Ebene B C denkt, und von den zu verzeichnenden Puncten der Erdoberfläche a, b, c die auf B C Senkrechten a a′, b b′, c c′ zieht. Iſt der Berührungspunct ein Pol, ſo heißt dieſe Projection orthographiſche Polarprojection. Da ſind alle Parallelkreiſe wieder Kreiſe in der Projectionsebene und alle Meridiane gerade Linien. 2. Die ſtereographiſche Projection. Bei dieſer denkt man ſich das Auge O (Fig. 383) in einem Puncte der Kugeloberfläche, welcher dem zu entwerfenden Lande gegenüberſteht, und zieht von dieſem durch die Puncte der Erdoberfläche gerade Linien, bis ſie die Projectionsebene treffen. Bei dieſer Projectionsart erſcheinen alle Kreiſe auf der Kugelfläche wieder als Kreiſe, und dieſe ſchneiden ſich unter denſelben Winkeln wie jene. 3 Die Kegelprojection. Dieſe braucht man zur Darſtellung kleiner Theile der Erdoberfläche. Berührt z. B. der Kegel a b c (Fig. 384) die Kugelfläche in der Zone b d c e, ſo erhält man durch Abwicklung des Kegels auf einer Ebene die Parallelkreiſe d e, b c als Kreisbögen von den Halbmeſſern d a, b a, und die Meridiane werden gerade in a zuſamenlaufende Linien

Bei der Abbildung kleiner Stücke der Erde, die man als eben betrachten kann, zieht man die Parallelkreiſe und Meridiane als gerade, ſich unter rechten Winkeln ſchneidende Linien ſo, daß ſie Rechtecke bilden, oder wenn dieſes nicht wohl angeht, ſo vermindert man die Grade der äußerſten Parallelkreiſe im gehörigen Verhältniſſe gegen die der Meridiane und verbindet dann die Theilungspuncte durch gerade Linien, damit man Trapeze erhalte, welche von Rechtecken deſto mehr abweichen, je größer der Breitenunterſchied der äußerſten Parallelkreiſe iſt.

Seekarten werden am zweckmäßigſten nach einer Projection entworfen, vermöge welcher die Meridiane und Parallelkreiſe Rechtecke mit einander machen, ſo daß die Grade der Parallelkreiſe einander gleich bleiben, aber die der Meridiane in demſelben Verhältniſſe wachſen, in welchem die Grade der Parallelkreiſe der Kugeloberfläche abnehmen. Man nennt ſie Mercators oder reducirte Karten. Sie gewähren den Vortheil, daß die Richtungen der Winde mit allen Meridianen der Karte gleiche Winkel und gerade Linien machen, während ſie auf der Kugel krumme Linien, ſogenannte Loxodromien bilden. (Mehr hierüber liefert Mayer's gründlicher und ausführlicher Unterricht zur practiſchen Geometrie. Erlangen 1815. 4. Th. Kapitel 3—7. Littrow's theoretiſche und practiſche Aſtronomie. Wien 1821. 2. B. S. 336.)

24. Schon aus der durch obige Gründe bewieſenen Bewegung der Erde läßt ſich ſchließen, daß ſie keine rein ſphäriſche Geſtalt haben könne, ſondern an den Polen etwas abgeplattet ſeyn müſſe, wenn ſie ſich ja einmal in einem Zuſtande befunden hat, wo die Theile dem Zuge der Schwere ungehindert folgen konnten; denn die aus ihrer Axendrehung entſtandene Fliehkraft mußte die Schwere am Aequator am meiſten vermindern und daſelbſt eine Protuberanz, an den Polen hingegen eine Abplattung hervorbringen. Auch der Umſtand, daß der größere Theil der Erdfläche mit Waſſer bedeckt iſt und dieſes den bewegenden Kräften leicht folgt, läßt auf das Vorhandenſeyn der abgeplatteten Geſtalt der Erde ſchließen. Einen directen Beweis dafür liefern aber Meſſungen der Meridiangrade in verſchiedenen Breiten, Beobachtung der Pendellänge an verſchiedenen Orten und endlich die Wirkung des Mondes auf die Erde. Die Meſſungen der Meridiangrade haben nämlich gelehrt, daß dieſe Grade ungleich ſeyen und daß ſie gegen die Pole hin zunehmen, gegen den Aequator zu kleiner werden, mithin, daß die Krümmung der Erde an den Polen zu einem größeren, am Aequator zu einem kleineren Kreiſe gehöre oder was dasſelbe iſt, daß die Erde an den Polen abgeplattet, am Aequator ausgebaucht ſey. Meſſungen der Länge des Secundenpendels an Orten von verſchiedener Breite zeigen, daß dieſe Länge immer kleiner werde, je näher man den Polen kommt. Daraus geht hervor, daß die Schwere gegen die Pole hin zunehme und man kann zugleich finden, in welchem Verhältniſſe dieſe Zunahme ſtehe. Macht man es auch von dem Einfluſſe der Fliehkraft, die gegen die Pole hin kleiner iſt und daher die irdiſche Schwere weniger ſchwächt, unabhängig, ſo bleibt doch das Geſetz gültig, daß die Schwere gegen die Pole zunehme, woraus man wieder ſchließen kann, daß daſelbſt der Mittelpunct der Oberfläche näher liege als am Aequator, alſo daß an den Polen eine Abplattung vorhanden ſey. Der Mond wirkt durch ſeine Anziehung auf die Erde in der Art, daß er, ſo lange er ſich außerhalb des Aequators befindet, die Erdaxe zu verrücken ſucht. Dieſe Wirkung erfolgt nun gerade ſo, als wenn die Erde die Geſtalt einer Kugel hätte und überdieß am Aequator noch einen aufgeſetzten, auswärts convexen Ring trüge, wie dieſes mit der Abplattung wirklich übereinſtimmt. Jedes

dieſer Mittel, durch welches man das Daſeyn einer Abplattung beſtimmen kann, geſtattet auch die Größe derſelben zu meſſen. Alle deuten darauf hin, daß die Abplattung nicht ſehr bedeutend ſey und daß man ohne großen Fehler die Erde als ein durch Umdrehung einer Ellipſe entſtandenes Sphäroid betrachten könne. Unter dieſer Vorausſetzung reicht die Länge zweier Meridiangrade hin, den Unterſchied zwiſchen der großen und kleinen Axe der Ellipſe, d. i. die Differenz zwiſchen der Axe des Aequators und jener des Meridians an den Polen der Erde zu beſtimmen. Man nennt dieſen Unterſchied, in Theilen der durch die Pole gehenden Axe ausgedrückt, die *Größe der Abplattung* oder die *Ellipticität* der Erde. Wenn man die Reſultate der Berechnung der Abplattung aus der Fliehkraft, aus Gradmeſſungen, Pendelbeobachtungen und der Mondeswirkung mit einander vergleicht; ſo findet man leider ziemlich große Differenzen, wie ſich dieſes bei einer ſo ſchwierigen Unterſuchung, wo man immer vom Kleinen aufs Große ſchließen muß, kaum anders erwarten ließ. In der neueſten Zeit ſind die bei den älteren und neueſten Gradmeſſungen gewonnenen Daten von *Beſſel* ſehr genau in Rechnung genommen worden, und haben folgende Reſultate gegeben, die darum auch als der Wahrheit zunächſt ſtehend angeſehen werden können:

Halbmeſſer des Aequators	=	3272077.14	Toiſen
oder		859.4367	geogr. Meilen.
Halbe Axe	=	3261139.33	Toiſen
oder		856.5637	geogr. Meilen.
Umfang des Aequators als Kreis betrachtet .	=	20559066.9865	Toiſen.
Größe eines Grades unter dem Aequator	=	57108 5194	Toiſen
oder		15	geogr. Meilen.
Eine geogr. Meile	=	3807.3346	Toiſen.
Unterſchied der Axe und des Durchmeſſers	=	21875.62	Toiſen
oder		5.7460	Meilen.
Ellipticität	=	0.0033541	oder nahe $\frac{1}{300}$.
Umfang eines ganzen Meridians	=	20524719.24	Toiſen
oder		5401.4846	geogr. Meilen.
Oberfläche des Ellipſoides	=	9279848.422	geogr. Quadratm.
Körperlicher Inhalt		2650180306	geogr. Kubikmeil.

25. Wiewohl die Größe der Erde gegen die Himmelsſphäre verſchwindet und daher der ſcheinbare Ort eines Punctes dieſer Sphäre von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ganz unabhängig iſt; ſo iſt doch ein Erdhalbmeſſer nicht auch gegen die Entfernung der Planeten, des Mondes und der Sonne verſchwindend klein, und es hängt der ſcheinbare Ort dieſer Körper am Himmelsgewölbe von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ab. Stellt A B

(Fig. 385) einen Durchſchnitt der Erde vor, welcher durch zwei Beobachtungsorte A und B geht, a b c den Durchſchnitt der Himmelsſphäre, an welcher uns die Himmelskörper erſcheinen; ſo wird ein Stern S von A aus geſehen in s′, von B aus geſehen in s erſcheinen. Der Winkel A S B, den die Geſichtslinien A S und B S in S machen, heißt die Parallaxe des Sternes. Um richtige und übereinſtimmende Reſultate über die relative Lage der Himmelskörper zu erhalten, reducirt man alle, gegen deren Entfernung die Größe der Erde nicht verſchwindet, auf den Ort, wo ſie vom Mittelpuncte der Erde aus erſcheinen. Iſt C (Fig. 385) der Mittelpunct der Erde und eines Durchſchnittes derſelben, welcher in einer durch den Stern S′ und den Beobachtungsort A gehenden Verticalebene liegt; ſo erſcheint S′ von C aus geſehen im Puncte s″ der Himmelsſphäre; mithin muß die ſcheinbare Höhe des Sternes um die Parallaxe A S′ C vermehrt werden, damit man ſeine wahre Höhe finde. Aehnliche Correctionen müſſen auch an der Abweichung und geraden Aufſteigung eines ſolchen Geſtirnes angebracht werden, um ſie vom Einfluſſe des Standortes auf der Erde zu befreien. Daß dieſe Parallaxe immer kleiner werde, je mehr ſich S′ dem Scheitelpuncte nähert, und daß ſie im Zenith ſelbſt verſchwinde, iſt klar.

Man hat verſchiedene Methoden, die Parallaxe eines Sternes zu finden, die deſto mehr Genauigkeit gewähren, je näher der Körper der Erde ſteht Um aber die Parallaxe vom Einfluſſe der Höhe des Geſtirnes, bei dem ſie gefunden wurde, zu befreien, muß man ſie auf jene reduciren, welche der Himmelskörper im Horizonte hat. Iſt $ASC = h$ die Horizontalparallaxe des Sternes S, $AS'C = a$ die Höhenparallaxe deſſelben Sternes S′, $AC = r$ der Erdhalbmeſſer; ſo hat man $r : SC = \sin h : 1$; $r : S'C = \sin a : \cos SAS'$, mithin weil $SC = S'C$ iſt,

$$\sin h : 1 = \sin a : \cos SAS' \text{ und } \sin h = \frac{\sin a}{\cos SAS'}.$$

Die Parallaxe eines Geſtirnes S dient oft zur Beſtimmung ſeiner Entfernung vom Mittelpuncte der Erde und ſeiner Größe. Denn im Dreiecke A S C iſt $r : SC = \sin h : 1$, und daher

$$SC = \frac{r}{\sin h}.$$

Denkt man ſich einen Beobachter in S, ſo erſcheint ihm der Halbmeſſer der Erde A C unter dem Winkel $ASC = h$. Beſtimmt man nun den ſcheinbaren Halbmeſſer ρ des Geſtirnes von der Erde aus geſehen, ſo muß er ſich zu ſeiner Horizontalparallaxe h verhalten, wie der wahre Halbmeſſer des Geſtirns R zum Halbmeſſer der Erde r, oder es iſt $\rho : h = R : r$, und daher $R = \frac{\rho}{h} r$ und endlich für $r = 1$

$$R = \frac{\rho}{h}.$$

Ueber dieſes Kapitel ſiehe: Anleitung zur allgemeinen Kenntniß der Erdkugel von Bode. Berlin 1820. Lehrbuch der mathematiſchen Geographie von Fries. Leipzig 1814. Allgemeine mathema-

tiſche Erdbeſchreibung von Hochſtetter. Stuttgart 1820. La figure de la terre par M. Bouguer, et de la Condamine. Paris 1787 — 1788. Lehrbuch der mathematiſchen und phyſiſchen Geographie von Schmidt. Göttingen 1829. Handbuch der math. und phyſiſchen Geographie von Muncke. Heidelberg 1830. (Als zweiter Theil ſeines Handbuches der Naturlehre.)

Viertes Kapitel.

Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde.

26. Vorher iſt gezeigt worden, daß die tägliche Bewegung der Himmelskörper eine bloß ſcheinbare ſey und von der Axendrehung herrühre. Hier ſoll nun bewieſen werden, daß auch die jährliche Bewegung der Sonne zur Claſſe der ſcheinbaren Bewegungen gehöre und einer Bewegung der Erde um die Sonne zugeſchrieben werden müſſe. Bevor aber dieſes geſchehen kann, muß man ſich mit der jährlichen Bewegung der Sonne ſelbſt näher vertraut machen. Schon der Umſtand, daß den nächtlichen Himmel immer andere Sterne ſchmücken und daß erſt nach einem Jahre wieder dieſelben zum Vorſcheine kommen, zeigt, daß der Sonne nebſt der täglichen Bewegung, die ſie mit dem ganzen Himmel gemein hat, auch noch eine eigene zukommen müſſe; allein noch mehr überzeugt man ſich davon und zugleich von der Richtung dieſer Bewegung, wenn man einen Fixſtern mit der Sonne einige Zeit hindurch vergleicht. Geht man von dem Tage aus, wo ein ſolcher Fixſtern mit der Sonne zugleich aufgeht, ſo wird man bald bemerken, daß erſterer ſchon nach einigen Tagen der Sonne gleichſam vorauseile, nach ungefähr drei Monaten ſchon culminire, wenn dieſe aufgeht, nach einem halben Jahre bei Sonnenaufgang untergehe, und daß erſt nach einem ganzen Jahre der Aufgang beider wieder in dieſelbe Zeit falle. Die jährliche Bewegung der Sonne iſt daher der täglichen entgegengeſetzt.

27. Man hat mit großer Genauigkeit die Lage der Sonnenbahn an der Himmelsſphäre kennen gelernt, indem man aus Vergleichungen der Mittagshöhen der Sonne auf ihre Bewegung in der Richtung des Meridians und aus dem Zeitunterſchiede zwiſchen ihrer Culmination und der eines Fixſternes auf ihre Bewegung in der Richtung der Parallelkreiſe ſchloß; denn die Reſultirende beider Bewegungen gibt die Lage der Sonnenbahn. Dadurch fand man, daß dieſe Bahn in einer Ebene liege, die den Aequator ſchneidet und gegen ihn unter einem Winkel von nahe 23° 28′, mithin gegen die Erdaxe unter einem Winkel von nahe 66° 32′ geneigt ſey. Der Durchſchnitt dieſer Ebene mit der Himmelsſphäre gibt einen Kreis am Himmel, der ſchon früher (11) unter dem Namen Ekliptik vorkam und deſſen Neigung gegen den Aequator die Schiefe der Ekliptik genannt wird. Die Puncte, wo die Ekliptik den Aequator ſchneidet, ſind ſchon

vorhin *Aequinoctialpuncte* genannt worden. Der nördlichſte und ſüdlichſte Punct der Ekliptik heißen *Solſtitialpuncte*, und zwar jener *Sommerſolſtitialpunct*, dieſer *Winterſolſtitialpunct*; die durch ſie gehenden Parallelkreiſe führen den Namen *Wendekreiſe*. Die Parallelkreiſe, in welchen die Pole der Ekliptik liegen, nennt man *Polarkreiſe*. Die Meridiane, welche durch die Solſtitial- und Aequinoctialpuncte gehen, heißen *Coluren*. Schon in den älteſten Zeiten hat man die Ekliptik in zwölf gleiche Theile oder Zeichen getheilt, wovon alſo jedes 30 Grade enthält. Sie haben von den benachbarten Sternbildern die Namen: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Waſſermann, Fiſche, und führen der Ordnung nach die Zeichen:

♈, ♉, ♊, ♋, ♌, ♍, ♎, ♏, ♐, ♑, ♒, ♓.

28. Wenn man die Zeit, welche die Sonne braucht, um vom Frühlingsäquinoctialpuncte zum Herbſtäquinoctialpuncte zu kommen, mit der vergleicht, in welcher ſie vom Herbſtäquinoctium zum Frühlingsäquinoctium zurückkehrt; ſo findet man, daß ſie zu erſterem Wege faſt um 8 Tage mehr braucht als zu letzterem. Es iſt daher die Bewegung der Sonne in ihrer Bahn *keine gleichförmige*. Genaue Beobachtungen haben kennen gelehrt, daß die Geſchwindigkeit der Sonne in einem in der Nähe des Winterſolſtitialpunctes befindlichen Puncte ihrer Bahn am größten ſey, daß ſie von da an immer kleiner, in einem dem Sommerſolſtitium nahen Puncte am kleinſten werde und von hier aus gegen erſteren wieder wachſe. Mit der größten Geſchwindigkeit beſchreibt ſie täglich einen Bogen von 61′ 10″.1, mit der kleinſten einen Bogen von 57′ 7″.2, und ihrer mittleren Geſchwindigkeit entſpricht ein Bogen von 59′ 8″.3, welches linear gemeſſen 355884 Meilen gibt. Dieſe Aenderungen der Geſchwindigkeiten könnten auch ſcheinbar ſeyn und durch eine Aenderung der Entfernung hervorgebracht werden; denn derſelbe Bogen erſcheint kleiner oder größer, je nachdem er mehr oder weniger vom Beobachter entfernt iſt. Wirklich zeigen Beobachtungen, daß die Sonne gerade da, wo ihre Geſchwindigkeit zunimmt, der Erde näher komme, und daß ihre Entfernung von der Erde wachſe, wenn ihre Geſchwindigkeit im Abnehmen begriffen iſt; denn ihr ſcheinbarer Durchmeſſer, der mit ihrer Entfernung im verkehrten Verhältniſſe ſteht, nimmt in jenem Falle zu, in dieſem ab. Allein wenn die Veränderungen der Geſchwindigkeit der Sonne bloß von ihrer Entfernung abhingen und an und für ſich ihre Geſchwindigkeit beſtändig wäre; ſo müßte ſich ihr ſcheinbarer Durchmeſſer gerade in demſelben Verhältniſſe vermindern, in welchem ihre Geſchwindigkeit kleiner wird Letzteres iſt aber nicht der Fall und der ſcheinbare Sonnendurchmeſſer nimmt in einem zweimal größeren Verhältniſſe ab, als die Geſchwindigkeit, und es muß daher die Geſchwindigkeit der Sonne wirklich kleiner werden, indem ſie ſich von uns entfernt und umgekehrt. Der Erfahrung gemäß iſt das Product des in

einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens in das Quadrat ihrer Entfernung eine beſtändige Größe.

29. Wenn durch Beobachtungen des ſcheinbaren Durchmeſſers der Sonne die Veränderungen der Entfernung (des Radius Vectors) und durch die Größe des in einem Tage zurückgelegten Bogens in ihrer Bahn die Lage des Mittelpunctes der Sonne Tag für Tag gegeben iſt; ſo kann man auch Tag für Tag die Lage und Größe des Radius Vectors verzeichnen, und durch die Endpuncte eine krumme Linie ziehen, welche die Sonnenbahn vorſtellen wird. So überzeugt man ſich, daß dieſe Bahn eine Ellipſe iſt, in deren einem Brennpuncte ſich die Erde zu befinden ſcheint. Die Excentricität dieſer Ellipſe iſt zwar veränderlich, jedoch immer nur gering. Sie beträgt jetzt 0.01677506 und vermindert ſich in einem Jahrhundert um 0.00004299. Setzt man die kleine Axe der Ellipſe = 1, ſo iſt die größere = 1.03416. Den Punct der Sonnenbahn, der die größte Entfernung von der Erde hat, nennt man ihr Apogäum; denjenigen, deſſen Entfernung von der Erde am kleinſten iſt, Perigäum. Die gerade Linie, welche beide Puncte verbindet, oder die große Axe der Ellipſe, heißt Abſidenlinie. Die Länge des Perigäums iſt 100° 11′ 27″.3, es fällt alſo faſt mit dem Anfang des Jahres zuſammen, rückt aber in 58 Jahren um 1 Tag vorwärts und fällt ſomit nach 21000 Jahren wieder auf denſelben Tag.

30. Die Erſcheinungen der jährlichen Bewegung der Sonne laſſen ſich ſowohl aus einer wirklichen Bewegung der Sonne um die Erde, als aus einer Bewegung der Erde um die Sonne erklären. Der bloße Augenſchein kann hier ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er es bei der täglichen Bewegung zu thun vermochte; es müſſen daher andere Gründe für die eine oder die andere dieſer Bewegungen ſprechen. Dieſe fallen aber alle zu Gunſten der Bewegung der Erde um die Sonne aus, wie Folgendes zeigt: Es mag die Bewegung der Sonne oder der Erde als wirklich angenommen werden, ſo muß ſie durch Centralkräfte bewirkt werden, weil nur dadurch die bei der krummlinigen Bewegung entſtandene Fliehkraft aufgehoben werden kann und weil die beſchriebenen Sectoren ihren Zeiten proportionirt ſind. Allein die Folge wird zeigen, daß die Sonne ein viel größerer Körper ſey, als die Erde. Wie kann daher die Erde eine Centralkraft beſitzen, welche die Sonne in ihrer Bahn erhält? um wie viel natürlicher iſt es, der Sonne dieſe Kraft anzuweiſen und ſo den kleineren Körper um den größeren ſich bewegen zu laſſen. Die Gründe, welche etwa ein Erdbewohner für die Bewegung der Sonne um die Erde haben dürfte, hat auch ein Bewohner jedes anderen Planeten für die Bewegung der Sonne um dieſen Planeten, weil wir an jedem derſelben eine jährliche Bewegung wahrnehmen. Allein, abgeſehen von der Schwierigkeit, welche die beobachtete Ungleichheit der Umlaufszeiten der Sonne um jeden einzelnen Planeten mit ſich führen würde; ſo geriethe man in directen Widerſpruch mit den unumſtößlichen Geſetzen der Bewegung,

während alles im beſten Einklange mit dieſen Geſetzen iſt, wenn man eine Bewegung der Erde um die Sonne annimmt.

Fünftes Kapitel.

Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde.

31. Aus der im Vorhergehenden bewieſenen zweifachen Bewegung der Erde und aus den Aenderungen der Elemente ihrer Bahn, laſſen ſich alle Phänomene, welche die relative Lage der Erde überhaupt und die jedes Punctes derſelben gegen die Sonne betreffen, vollkommen begreifen. Vermöge aller dieſer Bewegungen zuſammengenommen, beſchreibt jeder Punct der Erde in einer gegebenen Zeit eine Bahn, welche die Reſultirende der Wege iſt, die er durch jede einzelne Bewegung für ſich zurücklegen würde und die daher für jeden einzelnen Fall leicht zu finden iſt, wenn man nur jede einzelne Bewegung genau kennt.

32. Von der Axendrehung der Erde hängt der Wechſel von Tag und Nacht ſo wie überhaupt der Auf- und Untergang der Geſtirne ab. Denkt man ſich einen Halbmeſſer der Erde durch einen Punct A der Erdoberfläche außer der Erdaxe bis zur Himmelsſphäre verlängert, ſo trifft er wegen der täglichen Bewegung der Erde immer andere Puncte. Befindet ſich nun in dem Puncte der Himmelsſphäre, welchen er trifft, ein Fixſtern; ſo wird dieſer dem Erdbewohner, der ſeine eigene Bewegung von Weſt nach Oſt nicht gewahr wird, einen Kreis am Himmel zu beſchreiben ſcheinen, der deſto größer iſt, je näher der Winkel, den der Radius von A mit der Erdaxe macht, einem rechten kommt. Iſt dieſer Winkel = 0 oder liegt A in einem Pole, ſo wird der Punct am Himmel zu ruhen ſcheinen und alſo ein Pol der Himmelsſphäre ſeyn; beträgt jener Winkel 90°, ſo wird ſeine Bahn am größten und liegt im Himmelsäquator. Die Umlaufszeit eines Fixſternes iſt demnach zugleich die der Umdrehung der Erde um ihre Axe. Man nennt dieſe Zeit einen Sterntag und theilt ſie in 24 gleiche Theile, Sternſtunden ab. Jeder Punct des Aequators beſchreibt in einem ſolchen Tage 5400 Meilen, mithin in einer Secunde 1428 Pariſer Fuß. In Puncten außer dem Aequator iſt dieſe Bewegung langſamer und zwar nach Verhältniß des Coſinus ihrer Breite.

33. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde haben alle ihre Theile eine gleiche Geſchwindigkeit und legen im Durchſchnitte in einer Secunde nahe 4 M. zurück. Dieſe Bewegung iſt der täglichen der Richtung nach entgegengeſetzt. Daher kommt es, daß die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf um die Erde zu machen ſcheint, größer ausfällt als die, in welcher ein Fixſtern daſſelbe thut. Man

nennt die Zeit eines ſcheinbaren täglichen Sonnenumlaufes Sonnentag und ſeinen 24ſten Theil eine Sonnenſtunde. Ein Sterntag hat immer und für jeden Stern dieſelbe Dauer, aber ein Sonnentag iſt wegen der Ungleichförmigkeit der jährlichen Bewegung der Erde nicht immer gleich lang, ſondern zur Zeit der größeren Geſchwindigkeit der Erde, alſo im Winter, länger als zur Zeit der kleineren, im Sommer (entgegengeſetzt der Tagesdauer in einer andern Bedeutung). Weil dieſes den Geſchäften des bürgerlichen Lebens, die man ſtets nach Sonnenzeit regulirt, nicht günſtig iſt; ſo fingirt man ſich eine Sonne, welche ihre jährliche ſcheinbare Bahn in derſelben Zeit zurücklegt, wie die wahre, aber mit ſtets gleicher Geſchwindigkeit und parallel mit dem Aequator. Man nennt ſie die mittlere Sonne, die Zeit ihres Umlaufes mittleren Sonnentag, ihren 24ſten Theil mittlere Sonnenſtunde u. ſ. f. Der Unterſchied zwiſchen der wahren und mittleren Sonnenzeit heißt Zeitgleichung. Es liegt in der Natur der jährlichen Bewegung der Erde, daß die wahre Zeit bald der mittleren voreilt, bald hinter ihr zurückbleibt. Am meiſten voraus iſt ſie Anfangs November, am meiſten zurück in der Mitte Februar und zwar erſteres um 16′ 16″, letzteres um 14′ 34″. Viermal des Jahres fallen die mittlere und wahre Zeit zuſammen oder die Zeitgleichung iſt = 0. Dieſes hat Statt am 14. April, am 14. Juni, am 31. Auguſt und am 23. December. Ein Sterntag hat 23 Stunden 56 Minuten 4.1 Sec. nach mittlerer Sonnenzeit, ein mittlerer Sonnentag 24 St. 3 M. Sternzeit. Unſere Uhren zeigen in der Regel mittlere Sonnenzeit, nur die Aſtronomen laſſen ihre Uhren oft nach Sternzeit gehen. Eine Sonnenuhr zeigt wahre Sonnenzeit und kann daher mit einer mechaniſchen Uhr nicht immer harmoniren.

34. Von der jährlichen Bewegung der Erde hängt die Dauer des Jahres ab. So heißt nämlich die Zeit, innerhalb welcher die Erde wieder zum Frühlingsäquinoctialpuncte zurückkehrt, und zwar nennt man dieſes insbeſondere tropiſches Jahr, zum Unterſchiede vom ſideriſchen. Letzteres hat 365 T. 6 St. 9 M. 10.7496 S. und kann als unveränderlich angeſehen werden; erſteres umfaßte im Jahre 1840: 365 T. 5 St. 48 M. 47.571 Sec = 365 Tage 5.8132142 St. Es wird in einem Jahrhundert um 0″.595 kürzer. Im bürgerlichen Leben rechnet man das Jahr zu 365 Tagen, nur jedes vierte Jahr bekommt 366 Tage und heißt Schaltjahr; der eingeſchaltete Tag iſt der 23. Februar. Dieſe Zeitrechnung wurde von Julius Cäſar 46 Jahre vor Chriſti Geburt eingeführt und heißt deßhalb Julianiſche Zeitrechnung. Allein da hierbei das Jahr zu 365 T. 6 St. gerechnet ward, beging man jährlich einen Fehler von 0.1867858 St., der ſchon nach 128 Jahren einen Tag ausmachte. Zur Zeit der Nicäa'ſchen Kirchenverſammlung 325 nach Chriſto hatte er 3 Tage erreicht und man ſah ſich gezwungen dieſe 3 Tage auszulaſſen; allein im Jahre 1582 erreichte er abermals 10 Tage und es fiel die Frühlingsnachtgleiche, welche nach J. Cäſar auf den 21. März fallen ſollte, auf den 11ten dieſes Mo-

nats. Dieſes bewog den damaligen Papſt Gregor XIII. abermals zehn Tage wegzulaſſen und anzuordnen, daß für die Zukunft alle 400 Jahre drei Schalttage vernachläßiget werden. Deßhalb waren ſchon 1700, 1800 gemeine Jahre, wiewohl ſie der Regel nach Schaltjahre hätten ſeyn ſollen; auch wird 1900 wieder ein gemeines Jahr ſeyn. Indeß wäre dadurch nicht aller künftigen Verwirrung vorgebeugt, weil man in 400 Jahren doch noch einen Fehler begeht, wenn nicht zugleich dafür durch beſondere Anordnungen geſorgt wäre.

Da nebſt der von der Natur gegebenen Zeiteintheilung in Tage auch noch die in Wochen von 7 Tagen beſteht, ſo bekommt jedes gemeine Jahr $\frac{365}{7}$ = 52 Wochen 1 Tag, und jedes Schaltjahr $\frac{366}{7}$ = 52 Wochen 2 Tage. Ein gemeines Jahr endiget mit demſelben Wochentage, mit welchem es anfing, und der Anfang des nächſten gemeinen Jahres fällt auf den folgenden Wochentag. Bezeichnet man die erſten 7 Tage des Monats Jänner mit den Buchſtaben A, B, C, D, E, F, G und die folgenden wieder nach derſelben Ordnung mit A angefangen; ſo muß der letzte Tag eines gemeinen Jahres A ſeyn, wenn der erſte A iſt. Der Buchſtabe, welcher auf den erſten Sonntag fällt, heißt Sonntagsbuchſtabe. Dem Geſagten zu Folge rückt der Sonntagsbuchſtabe in verkehrter Ordnung von G nach A jährlich um eine Stelle weiter, nur in einem Schaltjahre geſchieht dieſes um zwei Stellen. Auch bekommt das Schaltjahr zwei Sonntagsbuchſtaben, einen vor und einen nach dem Schalttage. Gäbe es keine Schaltjahre, ſo würde derſelbe Sonntagsbuchſtabe alle ſieben Jahre zurückkehren; iſt aber jedes vierte Jahr ein Schaltjahr, ſo geſchieht dieſes erſt nach $4 \times 7 = 28$ Jahren. Dieſe Periode von 28 Jahren heißt Sonnenzirkel. Denſelben Namen führt auch die Zahl, welche anzeigt, das wievielte dieſer Periode ein gegebenes Jahr ſey. (Littrow's Kalendariographie. Wien 1828.)

35. Von beſonders großem Einfluſſe iſt die Neigung der Erdbahn gegen ihre Rotationsaxe; denn davon hängt die verſchiedene Neigung der auf die Erde einfallenden Sonnenſtrahlen und die Dauer ihrer Einwirkung ab, welche beide mit ihrer erwärmenden Kraft in Verbindung ſtehen. Wäre die Erdaxe ſenkrecht auf der Ekliptik, ſo würden die Strahlen der Sonne zu Mittag in jedem Orte das ganze Jahr hindurch unter demſelben Winkel einfallen und daher bei übrigens gleichen Umſtänden auch täglich nahe dieſelbe Erwärmung hervorbringen; allein da die Erdaxe unter 66° 32′ gegen die jährliche Bahn geneigt iſt, ändert ſich dieſer Winkel täglich. Es ſey z. B. S die Sonne (Fig. 386), E ein Durchſchnitt der Erde in einer Lage gegen die Sonne, E′ derſelbe in derjenigen Lage, welche die Erde ein halbes Jahr ſpäter einnimmt, Pp die Erdaxe, Aa der Erdäquator, M ein Punct der Erde, welcher zu Mittag die Sonne im Scheitel hat, o und o′ ein anderer, auf den die Mittagsſtrahlen ſchief auffallen, oz und o′z′ ſeine Scheitellinie. Man ſieht da deutlich, daß der Einfallswinkel in der Lage E gleich Soz, in der Lage E′ aber So′z′ und daß Soz < So′z′ iſt. Im aſtronomiſchen Sinne heißt für einen in der nördlichen Halbkugel der Erde gelegenen Ort die Zeit,

während welcher die nördliche Abweichung der Sonne wächſt, Frühling; diejenige, während welcher ſie abnimmt, Sommer; diejenige, während welcher die ſüdliche Abweichung wächſt, Herbſt, und endlich jene, während welcher dieſe abnimmt, Winter. Während in der nördlichen Halbkugel Sommer iſt, herrſcht in der ſüdlichen Winter; während des Herbſtes der nördlichen Hemiſphäre hat die ſüdliche Frühling und umgekehrt. Dieſe Jahreszeiten ſind nicht von gleicher Dauer, weil auch die jährliche Bewegung der Erde nicht gleichförmig iſt. Jetzt dauert bei uns der Frühling 92 Tage 22 Stunden, der Sommer 93 T. 14 St., der Herbſt 89 T. 17 St., und der Winter 89 T. 1 St. In der Neigung der Erdaxe gegen die Erdbahn liegt auch der Hauptgrund, warum die Sonne nicht das ganze Jahr hindurch gleich lang über dem Horizonte verweilt, oder wie man zu ſagen pflegt, warum es nicht gleich lang Tag iſt. Iſt z. B. C (Fig. 387) ein Punct der Erde, der die Polhöhe PCH hat, mithin Hh ſein Horizont, Pp die Weltaxe, Aa der Aequator, Bb, Dd, Gg, Kk Parallelkreiſe, welche in q, r, s, t vom Horizonte geſchnitten werden; ſo ſtellen AC, Bq, Dr, Gs, Kt die Theile der Parallelkreiſe vor, welche über dem Horizonte liegen, hingegen Ca, qb, rd, sg, tk diejenigen, welche ſich unter demſelben befinden. Betrachtet man nun die ſcheinbare Bewegung der Sonne während eines täglichen Umlaufes als gleichförmig, welches geſchehen kann, ohne die Wahrheit zu verletzen; ſo geben ſolche zwei Stücke des Parallelkreiſes der Sonne das Verhältniß zwiſchen der Dauer von Tag und Nacht an. Hieraus ſieht man, daß Tag und Nacht gleich ſind, wenn ſich die Sonne im Aequator befindet, daß in der nördlichen Halbkugel der Tag länger iſt als die Nacht, wenn die Sonne gegen Nord abweicht, und zwar deſto mehr, je größer dieſe Abweichung wird, und daß das umgekehrte Verhältniß während der ſüdlichen Abweichung der Sonne Statt hat. Wenn die Polhöhe PCH größer wird, ſo ſchneidet auch der Horizont Hh die Parallelkreiſe in noch ungleichere Stücke; daher muß in derſelben Zeit die Differenz zwiſchen Tag und Nacht deſto größer ſeyn, je größer die Polhöhe eines Ortes iſt. Deßhalb iſt in Ländern, deren Breite oder Polhöhe = 0 iſt, das ganze Jahr Tag und Nacht gleich, und aus dieſer Urſache dauert der längſte Tag in Oertern von großer Polhöhe mehrere Wochen ja Monate, bis bei einer Polhöhe von 90° das ganze Jahr nur in einen Tag und eine Nacht zerfällt.

Folgendes Verzeichniß gibt die Dauer des längſten Tages für Länder von gegebener Polhöhe.

Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.	Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.
8 Grad 34 M.	12 St. 30 M.	63 Grad 23 M.	20 St. — M.
16 » 44 »	13 » — »	64 » 11 »	20 » 30 »
24 » 12 »	13 » 30 »	64 » 50 »	21 » — »
30 » 48 »	14 » — »	65 » 22 »	21 » 30 »
36 » 31 »	14 » 30 »	65 » 48 »	22 » — »
41 » 24 »	15 » — »	66 » 8 »	22 » 30 »
45 » 32 »	15 » 30 »	66 » 21 »	23 » — »
49 » 2 »	16 » — »	66 » 29 »	23 » 30 »
52 » 0 »	16 » 30 »	66 » 32 »	24 » — »
54 » 31 »	17 » — »	67 » 23 »	1 Monat.
56 » 38 »	17 » 30 »	69 » 51 »	2 »
58 » 27 »	18 » — »	73 » 40 »	3 »
60 » 0 »	18 » 30 »	78 » 11 »	4 »
61 » 19 »	19 » — »	84 » 5 »	5 »
62 » 26 »	19 » 30 »	90 » 0 »	6 »

36. Die Elemente der Erdbahn ſind nicht unveränderlich, ſondern es unterliegen alle bis auf die große Axe der Ellipſe gewiſſen, wenn auch nur kleinen Veränderungen. Genaue Beobachtungen haben gelehrt, daß ſich die Lage der Fixſterne gegen den Aequator alle Jahre ändere, während ihre Lage gegen die Ekliptik unverändert bleibt. Dieſe Veränderung rührt davon her, daß die Aequinoctialpuncte auf der Ekliptik jährlich um eine gewiſſe Größe vou Oſt nach Weſt fortrücken ſo, daß ſie in 72 Jahren um 1° oder genauer jährlich um 50″,221 nach Weſt zurück weichen, und in nahe 25.600 Jahren (platoniſches Jahr) einen ganzen Umlauf machen. Es iſt daher die Erdaxe nicht völlig unbeweglich, ſie geht in 25.600 Jahren einmal um die Pole der Ekliptik herum. Man nennt dieſe Bewegung das *Vorrücken der Nachtgleichen* oder die *Präceſſion*. Aus derſelben folgt, daß die Erde kürzere Zeit brauche, um wieder zur Nachtgleiche, als um wieder zu demſelben Fixſterne zurückzukehren, oder daß die *tropiſche* Umlaufszeit kürzer ſey, als die *ſideriſche* oder wahre.

37. Als das Phänomen des Vorrückens der Nachtgleichen ſchon im Reinen war, bemerkte *Bradley* doch noch kleine periodiſche Ungleichheiten in der Neigung der Ekliptik gegen den Aequator und in der Präceſſion, die man erklärt, wenn man annimmt, daß ſich die Erdpole nicht in einem Kreiſe bewegen, wie dieſes das Vorrücken der Nachtgleichen allein für ſich fordert, ſondern daß dieſes in einer kleinen Ellipſe geſchehe, deren Umfang in 18 Jahren zurückgelegt wird, welche Ellipſe aber ſelbſt ihren Mittelpunct im Umfange des Kreiſes hat, der vermöge der Präceſſion beſchrieben wird. Dieſe Bewegung begreift man unter dem Namen der *Nutation* (*Wanken der Axe*).

38. Die Schiefe der Ekliptik erleidet zwar ſchon durch die Nu-

tation eine kleine Veränderung, die alle 18 Jahre wieder von Neuem beginnt; allein ſelbſt abgeſehen von dieſer Veränderung, unterliegt dieſer Winkel einem periodiſchen Wachſen und Abnehmen. Nach La Place beträgt der ganze Umfang dieſer Veränderung 6° 20′, und dazu braucht es mehrere tauſend Jahre. Gegenwärtig iſt die Schiefe = 23° 27′ 35″,8 und nimmt jährlich um 0″,4758 ab, bis ſie den Werth von 21° erreicht, wo ſie dann wieder zu wachſen anfängt.

39. Die Sonnenferne und Sonnennähe fallen, wie ſchon 29 bemerkt worden iſt, nicht immer in dieſelbe Stelle der Erdbahn, ſondern ſie rücken jährlich um 61″,47 in der Ekliptik vor, ſo daß die Erde mehr Zeit braucht, um wieder zur Sonnenhöhe, als um wieder zu einem Fixſterne zurückzukehren, und das ſogenannte anomaliſtiſche Jahr länger iſt als das ſideriſche.

40. Vermöge der Präceſſion und Nutation ändert ſich nur die Lage der Sterne gegen den Aequator und die Ekliptik, nicht aber gegen einander. Allein Bradley bemerkte an den Fixſternen auch noch eine kleine, periodiſche Aenderung ihrer Lage gegen einander. Um ſich dieſe Bewegung vorzuſtellen, laſſe man jeden Fixſtern jährlich einen kleinen, mit der Ekliptik parallelen Kreis, deſſen Centrum der mittlere Ort des Sternes iſt und deſſen Durchmeſſer, von der Erde aus geſehen, ungefähr 20″ beträgt, eben ſo beſchreiben, wie die Sonne ſich in der Ekliptik bewegt, jedoch ſo, daß dieſe immer um 90° voraus iſt. Dieſer Kreis erſcheint am Himmelsgewölbe als Ellipſe von größerer oder kleinerer Excentricität, je nachdem der Stern weniger oder mehr von der Ekliptik entfernt iſt. In der Ekliptik ſelbſt geht dieſe Ellipſe in eine gerade Linie über. Dieſes Phänomen führt den Namen Aberration. Daß es nicht durch eine den Sternen eigene Bewegung hervorgebracht werde, ſondern in einer Bewegung außer den Geſtirnen ſeinen Grund habe, läßt ſich ſchon daraus abnehmen, daß alle Sterne durch Aberration gleiche Kreiſe beſchreiben, die nur durch ihre Projection auf die Himmelsſphäre eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe erzeugen. Da überdieß alle dieſe Kreiſe mit der Ekliptik parallel liegen und der Ort des Sternes in dieſem Kreiſe in ſo genauer Verbindung mit dem der Sonne ſteht; ſo bleibt wohl kein Zweifel, daß der Grund dieſer Erſcheinung in der Bewegung der Sonne oder der Erde liege. Eine genaue Betrachtung der Sache zeigt, daß ſich alles bis auf die kleinſten Zahlenwerthe erkläre, wenn man die durch andere Erſcheinungen bewieſene, ſucceſſive Fortpflanzung des Lichtes mit der jährlichen Bewegung der Erde zuſammenſetzt. Wie dieſes geſchieht, mag folgende Betrachtung lehren: Es ſey S (Fig. 388) ein Stern, der dem Beobachter A einen Strahl SA zuſendet. Das Licht kommt in A mit dem Beſtreben an, in einer gegebenen Zeit nach der Verlängerung von SA den Weg AB zurückzulegen. Bewegt ſich der Beobachter und legt er in derſelben Zeit den Weg AC zurück, ſo wirkt das Licht auf deſſen Auge gerade ſo ein, als ob es nebſt ſeiner eigenen Bewegung auch noch eine der Bewegung des Beobachters gleiche und entgegengeſetzte beſäße, dieſer aber in Ruhe wäre. Nimmt man

dem zu Folge AD = AC, ſo gibt die Diagonale AE des Parallelogramms ABED die Richtung an, die der Beobachter im Puncte A ſeiner Bahn dem von S herrührenden Lichte zuſchreibt. Er ſieht daher den Stern in der Verlängerung von EA, z. B. in S′, d. h. er verſetzt ihn nach der Richtung ſeiner eigenen Bewegung um den Winkel SAS′ vorwärts, deſſen Größe ſich aus dem Verhältniſſe der Geſchwindigkeit des Lichtes zu jener der Erde und aus den Richtungen beider berechnen läßt. Man findet ihn = 10″,2. Es muß daher ein Stern in einem Jahr ſcheinbar eine Ellipſe beſchreiben, welche der Erdbahn ähnlich iſt, und deren große Axe unter dem Winkel 20″,4 erſcheint.

Sechstes Kapitel.

Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne.

41. Die Bewegungen der Planeten erſcheinen von der Erde aus viel verwickelter, als die der Sonne; ſie gehen aber faſt alle in einem 16° breiten Gürtel vor ſich, welcher mit der Ekliptik parallel iſt und von ihr halbirt wird. Er heißt Thierkreis (Zodiacus), weil die meiſten der daſelbſt befindlichen Sternbilder den Namen von Thieren haben. Zwei Planeten, Venus und Merkur, begleiten immer die Sonne und heißen untere Planeten, die anderen entfernen ſich bis 180° von ihr und werden obere Planeten genannt. Wenn ein Planet oder auch ein anderer Himmelskörper ſo gegen die Sonne oder einen anderen Körper zu ſtehen kommt, daß ihr Längenunterſchied 180° beträgt, ſo ſagt man, er ſey in Oppoſition; ſind ihre Längen gleich, ſo iſt er in Conjunction; beträgt der Längenunterſchied 90°, in Quadratur. In Kalendern bezeichnet man die Oppoſition durch das Zeichen ☍, die Conjunction durch ☌, die Quadratur durch □.

42. Die eigene oder jährliche Bewegung der Planeten ſtellt ſich auf eine merkwürdige Weiſe dar. Dieſe Bewegung iſt in der Regel von Weſt nach Oſt gerichtet, ſo daß ein Fixſtern, der an einem Tage zugleich mit einem Planeten culminirt, am folgenden Tage vor dem Planeten culminiren ſoll. Einige Zeit befolgt jeder Planet in der That dieſe Bewegung, doch bemerkt man bald, daß ſie immer langſamer wird und daß der Himmelskörper täglich um weniger hinter einem Fixſtern, den man zum Vergleichungspunct gewählt hat, zurückbleibt. Während dieſer Zeit nennt man ihn rechtläufig. Bald aber ſcheint er alle eigene Bewegung verloren zu haben und wie ein Fixſtern an ſeinem Platze zu verharren. In dieſem Zuſtande nennt man ihn ſtationär. Nachdem er dieſes einige Zeit war, fängt er gar an, ſich ſcheinbar von Oſt nach Weſt zu bewegen und wenn er an einem Tage mit einem Fixſtern zugleich culminirt hat, ſo tritt er am folgenden Tage eher in den Meridian als dieſer. In dieſem Bewegungszuſtande heißt er rückläufig. Seine Geſchwindigkeit nimmt

von Tag zu Tag zu, bis ſie eine gewiſſe Grenze erreicht hat, von woher an ſie wieder abnimmt und endlich ganz Null wird, ſo daß der Planet wieder ſtationär erſcheint. Aus dieſem Zuſtande geht er in jenen der Rechtläufigkeit über und ſo wiederholt ſich der ganze Turnus von Neuem. Bei allem dieſen iſt doch die rechtläufige Bewegung die größte, ſo daß man im Allgemeinen ſagen kann, ein Planet bewege ſich von Weſt nach Oſt. Die Planetenbahnen erſcheinen demnach, von der Erde aus geſehen, ſo verwirrt, daß es ſchwer hält, ſich Kräfte zu denken, durch welche ſie hervorgebracht werden ſollen. Dieſes muß um ſo auffallender ſeyn, da ſelbſt die ſcheinbare Bewegung der Sonne ſo regelmäßig iſt und ſich die Natur gleichſam untreu geworden zu ſeyn ſcheint, indem hier ihre ſonſtige Einfachheit und Einheit gänzlich vermißt wird. Es muß aber erſt unterſucht werden, ob dieſe Complication nicht bloß ſcheinbar iſt, denn es könnte leicht ſeyn, daß wir uns nicht an dem Platze befinden, von wo aus die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſich in ihrer Regelmäßigkeit zu zeigen. In der That bleiben zur Erklärung dieſer Erſcheinungen nur zwei Wege übrig: entweder ſind die Planetenbewegungen wirklich ſo verwickelt, wie ſie erſcheinen und wir befinden uns im Mittelpuncte oder doch innerhalb ihrer Bahnen, oder ſie erſcheinen uns nur ſo verwirrt, weil wir uns nicht an der gehörigen Stelle befinden.

Die alten Aſtronomen, an deren Spitze Ptolomäus ſteht, ſahen die Erde als Mittelpunct der Planetenbahnen an und erklärten ſich die verwickelte Bewegung durch die Annahme, daß jeder Planet ſich in einem Kreiſe abcd (Fig. 389) bewege, der Epicykel heißt und deſſen Mittelpunct in einem anderen Kreiſe BAC um die Erde T geht, den man excentriſchen Kreis nannte, weil man ſich die Erde außer ſeinem Mittelpuncte dachte. Nach dieſer Hypotheſe hat der Planet die ſchnellſte directe Bewegung, wenn er ſich in ſeiner größten Entfernung b von der Erde befindet, weil da ſeine Bewegung im Epicykel mit der des Epicykels im Kreiſe ABC nach derſelben Richtung geſchieht. Bewegt er ſich aber im Bogen cda, ſo ſcheint er eine der vorigen entgegengeſetzte Richtung, mithin eine rückgängige Bewegung zu haben, obgleich ſeine wahre Bewegung ſtets rechtgängig iſt. Wiewohl dieſe Hypotheſe die Planetenbahnen auf eine Bewegung in Kreiſen zurückführt und im Allgemeinen die Erſcheinungen zu erklären ſcheint; ſo fehlt doch bei dieſer Anſicht die ſonſt ſo erhebende Einheit der Natur, weil ſich die Erde in einer einfachen krummen Linie ohne Epicykel bewegt, hingegen jeder Planet einen eigenen Epicykel fordert, bei Mars gar ein dritter Kreis mit dem Epicykel und dem excentriſchen Kreiſe angenommen werden müßte, endlich jede neue Entdeckung am Himmel eine neue Schwierigkeit mit ſich bringt. Da nun die Erde nicht der Mittelpunct der Bewegung der Planeten ſeyn kann, ſo handelt es ſich darum, einen Punct zu finden, von dem die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſo einfach zu erſcheinen, als es dem Charakter der bereits bekannten, immer ſehr einfachen Geſetze der Natur gemäß iſt. Ein ſolcher Ort iſt die Sonne. Um dieſes einzuſehen,

muß man Mittel kennen, aus dem Orte, wo ein Planet, vom Mittelpuncte der Erde geſehen erſcheint, jenen zu beſtimmen, wo er vom Mittelpuncte der Sonne aus geſehen erſcheinen würde oder wie die Aſtronomen ſagen, aus dem geocentriſchen Orte den heliocentriſchen zu finden.

43. Die einfachſte Methode hiezu bieten uns für obere Planeten ihre Oppoſitionen und Conjunctionen dar, denn bei der Conjunction eines Planeten fällt ſein heliocentriſcher Ort mit ſeinem geocentriſchen zuſammen und bei der Oppoſition iſt einer vom andern um 180° verſchieden. Zwei auf einander folgende Oppoſitionen oder Conjunctionen eines Planeten geben zwei heliocentriſche Oerter deſſelben und aus dieſen kann man leicht ſeine Bewegung, von der Sonne aus geſehen, innerhalb der beiden Oppoſitionen oder Conjunctionen ableiten. Auf ſolche Weiſe überzeugt man ſich, daß die Bewegung dieſer Planeten von der Sonne aus geſehen, eben ſo regelmäßig vor ſich gehe wie die der Erde um die Sonne und daß z. B. Jupiter von einer Oppoſition zur anderen einen Bogen von 13° — 14° und Saturn einen Bogen von 35°—37° um die Sonne zurücklege, ferner daß dieſe Bewegung ſtets nach derſelben Richtung erfolge. Von den unteren Planeten läßt es ſich ſchon daraus darthun, daß ihre Bahnen die Sonne, nicht aber die Erde einſchließen, weil ſie nie in Oppoſition kommen; aber noch deutlicher wird dieſes durch Beobachtung ihrer Lichtgeſtalten. Die unteren Planeten unterliegen nämlich einem ähnlichen Lichtwechſel wie der Mond. Kehrt uns ein ſolcher Planet, während er in Conjunction iſt, ſeine ganze beleuchtete Scheibe zu, ſo muß ſich nothwendig die Sonne zwiſchen ihm und der Erde befinden; ſteht er aber ſo, daß wir nichts von der beleuchteten Seite bemerken, wie beim neuen Monde, ſo muß er ſich zwiſchen der Sonne und der Erde befinden. Man nennt jene Stellung die **obere**, dieſe die **untere** Conjunction der Planeten. Genaue Beobachtungen lehren aber, daß ein unterer Planet von der oberen Conjunction in die untere und von dieſer wieder in jene übergehe, mithin um die Sonne herumkomme, ohne jemals die Erde in ſeine Bahn aufzunehmen, welches nicht ſeyn könnte, wenn er ſich nicht um die Sonne bewegte.

Für **Jupiter** und **Saturn** läßt ſich der Satz, daß ſie ſich um die Sonne bewegen, ſogar aus **Ptolomäus** Beſtimmungen beweiſen. Die Verfinſterungen der Trabanten Jupiters geben nämlich ein Mittel an die Hand, das Verhältniß ſeiner Entfernung von der Erde zu jener der Sonne von der Erde zu beſtimmen. Es ſey z. B. S (Fig. 390) der Ort der Sonne, T der Ort der Erde, A Jupiter, der einen coniſchen Schatten wirft. Iſt die Dauer der Finſterniß eines ſeiner Trabanten genau beſtimmt, ſo befindet ſich der Trabant im Augenblicke des Mittels dieſer Dauer in Oppoſition mit Jupiter, und ſein Ort, vom Mittelpuncte Jupiters aus geſehen, fällt mit dem zuſammen, wo Jupiter vom Mittelpuncte der Sonne aus erſcheint. Da man erſteren aus den bekannten Bewegungen Jupiters und der Trabanten berechnen kann, ſo iſt dadurch für dieſen Augenblick auch der heliocentriſche Ort Jupiters gegeben. Da auch deſſen geocentriſcher Ort und der Ort der Sonne für dieſen Augenblick bekannt iſt, ſo hat

man im Dreiecke S A T die Winkel S A T, S T A, mithin auch T S A und aus anderen Angaben die Größe der Seite T S, mithin auch S A und T A. Es ſind alſo aus jeder Verfinſterung eines Jupitertrabanten die Elemente des Dreieckes A S T und mithin der Ort Jupiters gegen den der Erde und der Sonne bekannt. Verbindet man viele ſo gefundene Oerter Jupiters mit einander, ſo zeigt die Verbindungslinie die Bahn dieſes Planeten, aus der man abnimmt, daß er ſich um die Sonne bewege. Auf ähnliche Weiſe beſtimmt man aus dem Verſchwinden und Wiedererſcheinen des Saturnringes ſeine Entfernung von der Erde, die 9½mal größer iſt, als die der Sonne von der Erde. Dieſes Verhältniß gibt aber Ptolomäus ſelbſt für das des Halbmeſſers der Saturnbahn zum Halbmeſſer ſeines Epicykels an, und daher iſt dieſer Epicykel die Erdbahn.

44. In welcher Ordnung ſich die Planeten um die Sonne bewegen, lehren folgende Betrachtungen: Venus und Merkur zeigen durch ihre geringen Digreſſionen von der Sonne, daß ſie ihr näher ſtehen als die Erde. Da ſie nie in Oppoſition erſcheinen, wohl aber in einer zweifachen Conjunction, in einer oberen und einer unteren, ſo kann ihre Bahn die Erdbahn nicht einſchließen. Von den zwei unteren Planeten ſteht aber wieder Merkur der Sonne näher, als Venus, weil er eine geringere Digreſſion hat als letztere und dieſe ſogar manchmal bedeckt, wie z. B. im Mai 1737 geſchah. Die übrigen Planeten folgen in der Ordnung: Mars, Jupiter, Saturn und Uranus. Dieſes ergibt ſich daraus, daß ſich beim Uebergange von der Conjunctur zur Oppoſition der ſcheinbare Durchmeſſer des Mars mehr ändert als jener des Jupiter, der des Jupiter mehr als jener des Saturn und der des Saturn wieder mehr als jener des Uranus. Da nun ein Planet in der Conjunction nahe um den Durchmeſſer der Erdbahn weiter von der Erde entfernt iſt als in der Oppoſition, ſo muß der Durchmeſſer der Erdbahn ein größerer Theil vom Durchmeſſer der Marsbahn ſeyn, als vom Durchmeſſer der Jupitersbahn und noch mehr von jener der Saturn- oder Uranusbahn, oder mit andern Worten: die Bahn des Mars muß kleiner ſeyn als die des Jupiter, dieſe kleiner als die des Saturn und dieſe wieder kleiner als die des Uranus, oder es müſſen dieſe Planeten in der vorgenannten Ordnung auf einander folgen. Die neu entdeckten Planeten: Ceres, Pallas, Juno und Veſta haben ihre Bahnen zwiſchen denen des Mars und Jupiter. Der Erde iſt ihr Platz zwiſchen Venus und Mars angewieſen.

45. Es erübriget nur noch zu unterſuchen, wie die Bahnen der Planeten beſchaffen ſeyen und nach welchen Geſetzen die Bewegung in denſelben vor ſich gehe. Die Beſtimmung dieſer Puncte verdanken wir Kepler, einem der größten Männer aller Zeiten, der es ſich zur Aufgabe ſeines Lebens gemacht hatte, die Geſetze der Planetenbewegungen zu erforſchen. Ptolomäus ging von dem Grundſatze aus, daß ſich die Planeten in kreisförmigen Bahnen mit unveränderlicher Geſchwindigkeit um die Erde bewegen und daß letztere ſich außerhalb des Mittelpunctes dieſes Kreiſes befinde, wornach die Bewegung jedes Planeten, von der Erde aus geſehen, ſcheinbaren Ungleichheiten un-

terliegen muß, welche deſto größer ſind, je bedeutender die Excentricität ſeines Kreiſes iſt. Copernicus wich nur darin vom Vorigen ab, daß er die Planeten um die Sonne laufen ließ, er behielt aber die Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes bei. Kepler hingegen unterwarf alle Puncte der Planetenbewegungen einer ſtrengen Prüfung, zeigte die Unzulänglichkeit der Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes und der gleichförmigen Bewegung, und fand: 1) Daß ſich alle Planeten in Ellipſen um die Sonne bewegen und daß ſich letztere im gemeinſchaftlichen Brennpuncte aller dieſer Ellipſen befinde. 2) Daß die in gewiſſen Zeiten beſchriebenen Sectoren den Zeiten proportionirt ſeyen. 3) Daß die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der Entfernungen im geraden Verhältniſſe ſtehen. Durch dieſe Geſetze iſt alles beſtimmt, was auf die Bewegung der Planeten Bezug hat; man kann bei einem Planeten aus ſeiner Umlaufszeit auf ſeine Entfernung von der Sonne und umgekehrt aus dieſer Entfernung auf ſeine Umlaufszeit ſchließen. Dieſes iſt beſonders wichtig für die Beſtimmungen neuer Planeten. Als Uranus ungefähr ein Jahr entdeckt war, kannte man ſchon aus zwei Oppoſitionen den Bogen, den er in der Zwiſchenzeit zurückgelegt hatte, und mithin die Zeit, in welcher er in mittlerer Bewegung einen Umlauf um die Sonne macht. Aus der bekannten Umlaufszeit ließ ſich hierauf mittelſt des dritten Kepler'ſchen Geſetzes ſeine Entfernung von der Sonne berechnen. Die Planetenbahnen liegen nicht in derſelben Ebene, ſie ſchneiden die Erdbahn unter Winkeln, wovon der größte (für Ceres) über 34°, der nächſtfolgende (für Juno) aber ſchon nur 13° beträgt. Die Durchſchnittspuncte einer Planetenbahn mit der Eklipktik heißen, ſo wie die der Ekliptik und des Aequators, Knoten, und zwar einer der aufſteigende, der andere der abſteigende. Die Excentricitäten der Planetenbahnen ſind verſchieden; die größte Excentricität hat die Bahn der Juno, die kleinſte jene der Venus. Auch ihre Umlaufszeiten ſind ungleich und werden, dem dritten Kepler'ſchen Geſetze gemäß, deſto größer, je weiter der Planet von der Sonne abſteht.

46. Die Ordnung der Planeten, wie ſie erwieſen wurde, begreift man gewöhnlich unter dem Namen des Copernicaniſchen Syſtems. Man unterſcheidet es von dem Ptolomäiſchen, nach welchem ſich alle Planeten, ſo wie die Sonne, um die Erde bewegen nach der Ordnung: Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, und vom Tychoniſchen, in welchem zwar die Planeten um die Sonne gehen, aber dieſe ſammt ihrem Gefolge um die Erde, ſo daß die Halbmeſſer der Merkur- und Venusbahn kleiner, die der übrigen Planetenbahnen größer ſind, als der Halbmeſſer der Sonnenbahn.

Siebentes Kapitel.

Bewegung der Nebenplaneten und Finſterniſſe.

47. Unter den Nebenplaneten iſt der *Mond* für einen Erdbewohner bei weitem der wichtigſte; darum ſoll er auch zuerſt betrachtet werden. Man überzeugt ſich von der Bewegung des Mondes durch dasſelbe Mittel, wodurch man die ſcheinbare Bewegung jedes anderen Himmelskörpers kennen lernt, nämlich durch Vergleichung ſeines ſcheinbaren Ortes mit dem eines Fixſternes. Auch dieſe erfolgt von Weſt gegen Oſt, in einer Bahn, deren Ebene durch die Erde geht, gegen die Ekliptik geneigt iſt und ſie in zwei Puncten (Knoten) ſchneidet. Die Bahn ſelbſt iſt elliptiſch, in einem Brennpuncte dieſer Ellipſe befindet ſich die Erde, und der Mond bewegt ſich eben ſo um die Erde, wie ſich die Erde um die Sonne bewegt. Es laſſen ſich auf ihn alle *Kepler*'ſchen Geſetze anwenden und die Elemente ſeiner Bahn ſind ähnlichen, ja noch mehreren und größeren Veränderungen unterworfen, als die Elemente der Erdbahn und der übrigen Planeten. So rücken die Knoten der Mondbahn täglich um 3′ 10″,8 von Oſt nach Weſt fort und machen daher in 19 Jahren (genauer in 18 Jahren 218 Tagen 21 Stunden 22 Minuten 46 Secunden) einen Umlauf; der Punct ſeiner Erdnähe bewegt ſich hingegen täglich um 6′40″,9 von Weſt nach Oſt und kommt daher in ungefähr 9 Jahren (genauer in 8 J. 310 T. 13 St. 46 M. 53 S.) einmal herum; die Neigung ſeiner Bahn gegen die Ekliptik ändert ſich von 5° 18′ bis 5° 0′ 13″. Auch die Mondbahn weicht von der rein elliptiſchen Form oft ſtark ab und iſt überhaupt ſehr vielen Veränderungen unterworfen, deren einige groß ſind und leicht bemerkt werden können, während ſich andere nur erſt bei ungemein ſcharfen und ſehr oft wiederholten Beobachtungen zeigen.

48. Die Zeit von einer Conjunction eines Fixſternes mit dem Monde bis zur nächſtfolgenden heißt *ſideriſche Umlaufszeit*, *ſideriſcher Mondenmonat*. Ihre Dauer iſt 27 T. 7 St. 43 M. 11½ S. Von dieſer iſt die *tropiſche* Umlaufszeit, d. i. die Zeit, in welcher der Mond ſeine Länge um 360° ändert, verſchieden, und zwar um 7 Secunden kürzer, d. h. ſo viel, als der Mond braucht, den Bogen zu durchlaufen, um welchen die Aequinoctialpuncte in einem Monat zurückgehen. Die Zeit von einer Conjunction des Mondes mit der Sonne bis zur nächſtfolgenden heißt *ſynodiſche* Umlaufszeit. Sie iſt wegen der eigenen Bewegung der Erde länger als die ſideriſche und beträgt 29 T. 12 St. 44 M. 2.9 S. Wegen der Aenderung der Abſidenlinie und der Knotenlinie des Mondes muß auch die Zeit der Zurückkunft zur Erdnähe, der *anomaliſtiſche* Monat, und die, nach welcher er wieder zu dem Knoten kommt, der *Drachenmonat*, von der ſideriſchen Umlaufszeit verſchieden ſeyn.

49. Unter allen dieſen iſt der ſynodiſche Monat für das gemeine Leben am merkwürdigſten, weil er mit den Lichtgeſtalten (Phaſen) des Mondes in Verbindung ſteht. Der Mond erſcheint nämlich unter ſehr verſchiedener Beleuchtung; er zeigt uns, wenn er mit der Sonne in Oppoſition iſt, ſeine ganze Scheibe beleuchtet und heißt dann **Vollmond**; wenn er aber in Conjunction iſt, kehrt er uns eine ganz dunkle, nur durch einen ſchwachen, aſchgrauen Schimmer bemerkbare Scheibe zu und wird dann **Neumond** genannt. Beim Uebergange von der Oppoſition zur Conjunction nimmt die Beleuchtung ſeiner Scheibe ſucceſſive der Art ab (**abnehmender Mond**), daß in der Quadratur nur die halbe Scheibe beleuchtet, die andere Hälfte aber dunkel iſt, während beim Uebergange von der Conjunction zur Oppoſition der beleuchtete Theil immer größer, der dunkle immer kleiner wird (**zunehmender Mond**) und in der Quadratur wieder die eine Hälfte der uns zugekehrten Scheibe beleuchtet, die andere dunkel iſt. Die beſondere Krümmung der Lichtgrenze bei nicht vollem Lichte rührt von der Stellung des Beobachtungsortes gegen den Mond und von der Convexität des Mondkörpers her. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß alle dieſe Erſcheinungen davon herrühren, daß uns der Mond von der durch die Sonne beleuchteten Scheibe bald nichts, bald nur einen größeren oder kleineren Theil, bald das Ganze zuwendet, wie man aus Fig. 391 abnehmen kann, wo T die Erde, S die Sonne, L den Mond bedeutet und der nicht beleuchtete Theil des Mondes durch die Schattirung vom beleuchteten geſchieden iſt.

50. Der Mond kehrt uns immer dieſelbe Seite zu und nur zeitweilig bekommen wir einen ſehr ſchmalen Streifen der anderen Seite zu Geſichte. Dieſes könnte nicht ſeyn und wir müßten ihn während eines Umlaufes um die Erde von allen Seiten ſehen, wenn er ſich nicht in der Zeit eines Umlaufes um die Erde auch um ſeine Axe bewegte. Jedoch iſt ſeine Axendrehung gleichförmig, während ſeine Bewegung um die Erde bald beſchleunigt, bald verzögert iſt.

51. Die Trabanten der übrigen Planeten bewegen ſich um ihre Hauptplaneten auf ähnliche Weiſe und nach denſelben Geſetzen, wie ſich der Mond um die Erde bewegt. Auch von der Erde aus geſehen erſcheinen dieſe Bewegungen ſehr einfach. Befindet ſich der Trabant in einem ſeiner Knoten, ſo ſcheint er um den Planeten zu oscilliren, er entfernt ſich von ihm, nähert ſich ihm wieder, entfernt ſich nach der entgegengeſetzten Seite und kehrt wieder zurück. Befindet er ſich aber außer dem Knoten, ſo erſcheint uns ſeine Bahn als eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe. Den Bewegungen der Trabanten ähnlich iſt die des Ringes, welcher den Saturn umgibt.

52. Bei der Oppoſition oder Conjunction des Mondes ereignen ſich manchmal jene merkwürdigen Erſcheinungen, die man **Sonnen- und Mondesfinſterniſſe** nennt.

Eine **Mondesfinſterniß** iſt die Folge des Eintrittes des Mondes in den Erdſchatten; ſie ereignet ſich daher nur zur Zeit des Vollmondes und beginnt damit, daß ſich die beleuchtete Mondſcheibe

am öſtlichen Rande zu verdunkeln anfängt. Nach und nach rückt dieſe Verdunklung immer weiter, verbreitet ſich bei ſogenannten totalen Finſterniſſen über den ganzen Mond, bei partialen nur über ein größeres oder kleineres Stück deſſelben. Man gibt die Größe dieſes Stückes nach ekliptiſchen Zollen an, deren 12 auf den Mondesdurchmeſſer gehen. Fig. 392 ſtellt die Erde E mit ihrem Schatten und ein Stück a b der Mondbahn vor. Läge die Mondbahn in der Ekliptik, ſo müßte bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß Statt finden, allein wegen der Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik ereignet ſich eine ſolche nur dann, wenn der Vollmond zu einer Zeit eintritt, wo ſich der Mond in der Nähe der Knoten befindet und ſeine Breite geringer iſt, als die Summe aus dem Halbmeſſer des Mondes und dem des Erdſchattens da, wo der Mond ihn ſchneidet. Wäre z. B. (Fig. 393) A E ein Stück der Mondbahn, A L ein Stück der Ekliptik, a der Mittelpunct des Mondes im Augenblicke der Oppoſition, b der eines Durchſchnittes des Erdſchattens in der Entfernung des Mondes von der Erde und die zu a und b gehörigen Kreiſe die Mondesſcheibe und der Durchſchnitt des Erdſchattens; ſo iſt leicht zu erſehen, daß nur dann ein Durchſchneiden beider Kreiſe Statt haben kann, wenn die Breite des Mondes a b kleiner iſt, als die Summe der Halbmeſſer beider Kreiſe.

Sonnenfinſterniſſe entſtehen dadurch, daß der Mond zwiſchen die Sonne und die Erde zu ſtehen kommt, und finden daher nur im Neumonde Statt. Dieſelbe Urſache, aus welcher ſich nicht bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß ereignet, macht auch, daß nicht bei jedem Neumonde eine Sonnenfinſterniß entſteht, ſondern nur dann, wenn die Breite des Mondes bei ſeiner Conjunction kleiner iſt, als die Summe des ſcheinbaren Sonnen- und Mondhalbmeſſers. In Fig. 394 iſt E die Erde, S die Sonne, M der Mond mit ſeinem Schatten. Sonnenfinſterniſſe ſind wie die Mondesfinſterniſſe, entweder total oder partial, wohl auch noch ringförmig. Wenn die gerade Linie, welche vom Auge des Beobachters nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogen wird, nicht durch den Mittelpunct des Mondes geht, ſo iſt für dieſen Ort die Verfinſterung nur partial. Selbſt wenn erſteres Statt findet, wird nicht immer die ganze Scheibe verfinſtert erſcheinen, ſondern wenn der ſcheinbare Durchmeſſer des Mondes kleiner iſt, als jener der Sonne, ſo bleibt ein leuchtender Ring der Sonne unbedeckt und die Finſterniß iſt ringförmig. Uebrigens ſieht man leicht ein, daß auch die verſchiedene Entfernung der Sonne und des Mondes vom Mittelpuncte der Erde eben ſo wie die Breite des Mondes einen großen Einfluß auf die Größe der Verfinſterung haben müſſe, weil dadurch der ſcheinbare Durchmeſſer vergrößert oder verkleinert wird. Eine ähnliche Wirkung bringt auch die Höhe des Mondes über dem Horizonte eines Ortes hervor, woraus begreiflich wird, warum die Größe der Sonnenfinſterniſſe in verſchiedenen Orten der Erde verſchieden iſt, während doch Mondesfinſterniſſe allenthalben gleich groß erſcheinen.

Alles, was man in Betreff der Mondes- und Sonnenfinſterniſſe fragen kann, läßt ſich genau auf weit entfernte Zeiten durch Rechnung angeben, weil die Lage der Mondbahn gegen die Ekliptik, die Bewegung des Mondes und der Sonne, ihre Entfernung von der Erde und die Größe des Erdſchattens gegeben ſind. Auf dieſe Weiſe findet man, daß in 18 Jahren nur 70 Finſterniſſe erfolgen können, worunter 29 Mond- und 41 Sonnenfinſterniſſe ſind, daß jedes Jahr im Durchſchnitte vier Finſterniſſe hat und daß die Finſterniſſe ungefähr nach 19 Jahren wieder in derſelben Ordnung zurückkehren. (Ausführliche Anleitung zur trigonometriſchen Berechnung der an einem gegebenen Orte ſichtbaren Sonnenfinſterniſſe von J. W. Müller. Sulzbach 1815. Littrow's Darſtellung der Sonnenfinſterniſſe. Wien 1820.)

Aus der Bewegung des Mondes und der Sonne ergeben ſich beſondere Epochen, welche zur Beſtimmung hiſtoriſcher Ereigniſſe dienlich ſind. Der Zeitraum, nach welchem die Mondesphaſen, z. B. der Neumond, wieder auf denſelben Jahrestag fallen, heißt Mondeszirkel und beträgt 19 Jahre, weil 223 Mondesumläufe faſt genau in 19 Jahren geſchehen. Die Zahl, welche anzeigt, das wievielte ein gegebenes Jahr im Mondeszirkel ſey, heißt goldene Zahl. Sonnenzirkel und Mondeszirkel mit einander und mit einer dritten, nicht aſtronomiſchen Periode von 15 Jahren, welche Inductionszirkel oder Römerzinszahl heißt, multiplicirt, geben 7980 als die julianiſche Periode, nach welcher Sonntagsbuchſtabe, goldene Zahl und Zinszahl wieder auf denſelben Jahrestag fallen. Siehe hierüber: Anleitung zur Zeitkunde, herausgegeben von G. F. von Vega. Wien und Leipzig 1801.

53. Da die Planeten einen Schatten werfen, wie unſere Erde, ſo werden ihre Trabanten auch manchmal in denſelben eintreten und verfinſtert werden. Solche Finſterniſſe ſind beſonders bei den Jupiterstrabanten häufig und werden zum Behufe der irdiſchen Längenbeſtimmungen von den Aſtronomen fleißig beobachtet.

Achtes Kapitel.

Die Kometen und ihre Bewegung.

54. Die Kometen erſcheinen meiſt unerwartet und mit einem auffallenden Aeußeren. Sie bleiben nur kurze Zeit ſichtbar, nähern ſich dabei mit raſch zunehmender Geſchwindigkeit der Sonne immer mehr, ſo daß ſie ſich manchmal ganz in den Sonnenſtrahlen verbergen; hierauf entfernen ſie ſich wieder von ihr, ihre Geſchwindigkeit nimmt ab, bis ſie mit freiem Auge und zuletzt auch mit Fernröhren unſichtbar werden. Sie beſtehen meiſtens aus einer trüben, veränderlichen Dunſtmaſſe, haben in dieſer einen Kern, der weder feſt noch gasförmig ſeyn kann, ſondern aus discreten Theilen beſtehen muß, weil er das Licht der Fixſterne ohne merkliche Schwächung und ohne Refraction durchläßt. Bei manchen Kometen iſt die Dunſtmaſſe rund, bei den meiſten aber dehnt ſie ſich in einer Richtung in Form eines Schweifes aus, welcher von der den Kern umgebenden Dunſthülle weſent-

lich verſchieden ſeyn ſoll; er iſt bald gerade, bald gekrümmt (Komet vom Jahre 1807 und 1812), bald ganz, bald in mehrere Büſchel getheilt, aber meiſtens von der Sonne abgewendet. Dieſen Schweif bekommen die Kometen wahrſcheinlich erſt, wenn ſie ſich der Sonne ſtark nähern, ja man hat ſogar Kometen bemerkt, die das erſte Mal einen Schweif hatten, bei ihrer Wiedererſcheinung aber keine Spur davon merken ließen. Ihr Licht iſt bald gelblich (Komet vom Jahre 1618), bald röthlich, bald weiß (K. vom J. 1577), bald grünlich (K. vom J. 1811).

55. Die Kometen haben außer der täglichen Bewegung, die eine Folge der Axendrehung der Erde iſt, auch eine eigene. Die Richtung der letzteren iſt nicht, wie bei den Planeten, immer die von Weſt nach Oſt und ihre Bahn iſt ſelten innerhalb des Thierkreiſes gelegen; ja bei einigen faſt auf der Erdbahn ſenkrecht (K. v. J. 1707). Man weiß nun mit Beſtimmtheit, daß die Kometen im Allgemeinen dieſelben Geſetze der Bewegung befolgen, wie die Planeten, daß ſie ſich wie dieſe um die Sonne bewegen und ſogar auch in einer Kegelſchnittlinie. Allein die Beſchaffenheit dieſer Bahn weicht vorzüglich dadurch von der den Planeten eigenen ab, daß ſie, wenn ſie eine Ellipſe iſt, eine weit größere Excentricität hat, als die Planetenbahnen, daß ſie aber auch eine Hyperbel ſeyn kann. Von einigen Kometen iſt es erwieſen, daß ſie in Ellipſen um die Sonne gehen. Man kennt ihre Umlaufszeit und kann ihr Wiedererſcheinen vorausſagen. So war dieſes mit dem Kometen der Fall, der zuerſt im Jahre 1682 von Halley beobachtet und berechnet wurde und mit einer kleinen Verſpätung wirklich erſchien. Er iſt ſeit dieſer Zeit ſchon mehrmal beobachtet worden. In der neueſten Zeit berechnete Encke einen von Pons entdeckten Kometen, der nur eine Umlaufszeit von 1208 Tagen hat und nun ſchon öfter am berechneten Orte geſehen wurde.

56. Ueber die Natur der Kometen läßt ſich wenig mit Gewißheit ſagen. In älteren Zeiten hielt man ſie für bloße Lichterſcheinungen und für Vorboten großer Unglücksfälle; heut zu Tage iſt unſere Kenntniß derſelben ſo weit gediehen, daß man mit Beſtimmtheit weiß, ſie ſeyen gleich den Planeten außer unſerer Atmoſphäre befindliche Weltkörper, ohne jedoch über ihre weitere Beſtimmung und über das Verhältniß, in welchem ſie gegen die anderen Körper unſeres Sonnenſyſtems ſtehen, etwas Näheres ſagen zu können.

57. Daß die Kometen an Zahl die Planeten übertreffen, muß Jedem einleuchten, der weiß, daß faſt jährlich einer oder mehrere geſehen werden, die ſich von denen unterſcheiden, welche früher ſchon beobachtet wurden und daher als neue Ankömmlinge betrachtet werden müſſen. Die früheren Zeiten waren auch nicht minder reich an Kometenerſcheinungen, wiewohl uns wenig davon berichtet wird; aber ſelbſt die mit der Aufmerkſamkeit der Aſtronomen in gleichem Verhältniſſe wachſende Anzahl ſolcher Erſcheinungen rechtfertiget ſchon dieſe Annahme. Man beobachtete bis zum Jahre 1790 kaum 80 Kometen, und von dieſen gehört die Hälfte dem letzten Jahrhunderte an; bis

jeṫzt kennt man deren 400 — 500. Wie viele mögen noch heut zu Tage vorübergehen, ohne geſehen zu werden oder nur in ſüdlichen Gegenden ſichtbar ſeyn, wo ſie von keinem beobachtenden Auge bemerkt werden? Auch ſtimmt Alles mit der Annahme überein, daß ſich die Kometen nicht wie die Planeten in einer ſchmalen Zone bewegen, ſondern gleichförmig im Raume vertheilt ſind. Da nun bis jetzt beinahe 60 Kometen beobachtet wurden, welche der Sonne näher kommen als Venus, und deren gewiß eben ſo viele unbeobachtet vorübergegangen ſind, ferner im Durchſchnitte alle 500 Jahre dieſelben Kometen wieder ſichtbar werden; ſo mag der Raum zwiſchen der Sonne und der Venus wohl 600, mithin der zwiſchen der Sonne und der Bahn des Uranus wenigſtens 400.000 Kometen enthalten. Wie viel mehr mögen aber noch außerhalb der Bahn des Uranus liegen? Es machen daher die Kometen wirklich den größten Theil unſeres Sonnenſyſtems aus.

Neuntes Kapitel.

Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten.

58. Die Sonne galt in früheren Zeiten, beſonders bei den Anhängern der Ariſtoteliſchen Philoſophie, für das Vorbild aller Reinheit, bis im Anfange des 17ten Jahrhunderts entdeckt wurde, auch ſie habe Flecken. Spätere Beobachtungen haben dieſes beſtätigt und zur vollen Gewißheit erhoben. Häufig hat die ganze Oberfläche der Sonne gleichſam ein marmorirtes, grieſiges Anſehen, und dann zeigen gute Fernröhre eine Menge feiner mattgrauer, über die ganze Oberfläche zerſtreuter Puncte. Dieſe fließen oft zuſammen und bilden jene grauen Stellen, welche man Hof oder Nebel nennt. Häufig ſchließen ſich daran ſchwärzere Flecken, erſcheinen aber in der Regel nur bis auf eine Entfernung von 25° zu beiden Seiten des Sonnenäquators. Einige dieſer Flecken haben keine beſtimmbaren Dimenſionen und erſcheinen als bloße Puncte, andere hingegen, die Kernflecken, haben merkliche Ausdehnungen. Letztere ſind häufig von Höfen umgeben und zwar von ſolchen, die eine dem Kernflecke ähnliche Figur haben Dieſe Figur iſt meiſt ring-, oft ſtrahlenförmig, ſelten rund. Die Flecken erſcheinen oft einzeln, noch öfter aber in ganzen Gruppen, und nicht ſelten umfaßt ein einzelner Hof eine ganze Gruppe. Hof und Fleck ſind meiſtens ſcharf begrenzt und nur ſtellenweiſe verwachſen. Schon die größeren Kernflecke ſind von lichteren Linien aderartig durchzogen, aber nahe am öſtlichen oder weſtlichen Sonnenrande erſcheinen nicht ſelten hellere Stellen als die übrige Sonnenoberfläche iſt, ähnlich den Runzeln eines welken Apfels. Man nennt ſie Sonnenfackeln. Sowohl die Flecken als die Fackeln ſind von verſchiedener Ausdehnung, die größeren Gruppen der Flecken nehmen oft $^1/_3$ oder $^1/_4$ des Sonnendurchmeſſers ein und erſtrecken ſich demnach auf

50 — 60 tauſend Meilen. Alle dieſe Phänomene unterliegen beſtändigen Veränderungen, ſie wachſen und nehmen ab, vereinigen und trennen ſich, ändern ihre Geſtalt und Größe fortwährend; die größeren Flecken entſtehen aber meiſtens durch Vereinigung mehrerer kleiner. Oft ſieht man die Sonne längere Zeit, ſelbſt mehrere Monate lang, ohne Flecken, nicht ſelten iſt die Zahl und Größe der zugleich vorhandenen ſehr bedeutend, doch nehmen ſie nie $\frac{1}{100}$ der ganzen leuchtenden Fläche der Sonne ein. Regelmäßig ſieht man ſie am öſtlichen Rande erſcheinen, auf der Sonnenfläche nach Weſt fortrücken und am weſtlichen Rande wieder verſchwinden. Daraus hat man auf eine Axendrehung der Sonne von 25$^1/_2$ Tag geſchloſſen. So wie ein Fleck dem Rande der Sonnenſcheibe näher kommt, erfährt er natürlich eine optiſche Verkürzung, allein man bemerkt bei den mit einem Hof umgebenen Kernflecken, daß der Kern nicht mehr im Mittel des Nebels ſteht, ſondern nach Oſt zurückbleibt, zum Beweiſe, daß ſich die ſchwarzen Kernſtellen auf einer kleineren Kugel bewegen als die Nebel. Daraus läßt ſich weiters ſchließen, daß die Sonnenflecken weder dunkle, um die Sonne kreiſende Körper, noch vom Sonnenkörper ausgeworfene Schlacken, noch ausgebrannte Stellen des Sonnenkörpers ſeyn können, wie Einige vermuthet haben, ſondern, daß man annehmen müſſe, die Sonne ſey ein dunkler Körper, der von zwei Lichtſphären umgeben iſt, und die Flecken ſeyen ſolche Stellen, wo die Atmoſphären durchbrochen ſind und uns eine Stelle des dunklen Sonnenkörpers ſehen laſſen. Damit ſteht auch im Einklange, daß ſich das Sonnenlicht wie das eines gasförmigen Körpers in Bezug auf ſeinen Polariſationszuſtand verhalte, wie Arago bemerkt hat.

59. Wiewohl die ſcheinbare Größe der Sonne jener des Mondes beinahe gleich kommt, ſo iſt doch ihre wahre Größe der des Mondes weit überlegen. Aus ihrer Parallare, die nur nahe 8″,5 beträgt, folgt, daß ihre Entfernung von der Erde 21 Millionen Meilen betrage. Ihr ſcheinbarer Durchmeſſer hat 32′ 2″,9, und daher ihr wahrer 112,14 Erdhalbmeſſer, woraus folgt, daß ſie an Oberfläche die Erde 12598mal, an körperlichem Inhalte 1415225mal übertrifft.

60. Der bekannteſte der Planeten iſt ohne Zweifel Venus, nämlich jener Stern, den man gewöhnlich Abendſtern oder Morgenſtern nennt. Beobachtet man ihn, wenn er anfängt des Abends ſichtbar zu werden, ſo findet man, daß er ſich täglich mehr von der Sonne entfernt, bis ſeine Entfernung 48° beträgt, dann kehrt er wieder zu ihr zurück und verſchwindet endlich ganz in den Sonnenſtrahlen. Bald darauf ſieht man Morgens einen ähnlichen Stern vor der Sonne aufgehen, ſich von ihr immer weiter, zuletzt bis 48° entfernen, hierauf eben ſo wieder zu ihr zurückkehren. Es iſt wohl kein Zweifel, daß dieſes derſelbe Stern, wie der vorhin erwähnte, ſey.

Der ſcheinbare Durchmeſſer der Venus ändert ſich von 9″ bis 64″. Ihr wahrer Durchmeſſer beträgt 1717 Meilen, iſt alſo nahe

gleich dem Durchmeſſer der Erde. Sie erſcheint ſehr hell glänzend, manchmal gar ſo, daß man ſie bei Tage ſieht. Mittelſt Fernröhren bemerkt man an ihr ähnliche Lichtphaſen wie beim Monde, zum Beweiſe, daß ſie, ſo wie dieſer, ein dunkler Körper iſt, der ſein Licht von der Sonne bekommt. Ueber die Umdrehungszeit der Venus um ihre Axe iſt man ungeachtet vielfältiger Bemühungen nicht ins Reine gekommen, am wahrſcheinlichſten iſt eine Umdrehungszeit von $24^1/_4$ St. Den Lauf um die Sonne vollendet Venus jedoch in 224 T. 16^h $49',7$. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen Meilen.

61. Der Planet Merkur zeigt ähnliche Bewegungen wie Venus, nur mit dem Unterſchiede, daß er ſich nur bis auf 28° von der Sonne entfernt. Wegen dieſer geringen Entfernung iſt er auch ſchwer zu ſehen. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer wechſelt von $4''$ — $11'',6$; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 671 Meilen Er hat Flecken auf ſeiner Oberfläche, aus deren Beobachtung man auf eine Axendrehung von nahe 24 St. geſchloſſen hat. Seine ſideriſche Umlaufszeit beträgt 87 T. 23^h $15'$ $46''$, ſeine mittlere Entfernung von der Sonne nahe 8 Millionen Meilen.

Venus oder Merkur ſieht man, nachdem ſie unſichtbar geworden ſind, manchmal wie ſchwarze Scheibchen durch die Sonnenſcheibe gehen und ſo gleichſam eine Sonnenſinſterniß verurſachen. Dieſes Ereigniß iſt für den Aſtronomen von großer Wichtigkeit, weil es ihm Mittel verſchafft, die Sonnenparallaxe kennen zu lernen. (Merkwürdigkeiten von dem Durchgange der Venus durch die Sonnenſcheibe von Kohl. Greifswalde 1768.)

62. Mars hat ein feuerrothes Licht und eine ſehr ungleiche Bewegung. Sein Durchmeſſer wächſt von $3'',3$ — $23'',21$. Sein wahrer Durchmeſſer hält 892 Meilen. Er vollendet eine Axendrehung in 24^h $39'$ und einen ſideriſchen Umlauf in 1 Jahr, 221 Tagen $23^1/_2$ Stunden; ſeine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 32 Millionen Meilen. In der Erdnähe zeigt ein gutes Fernrohr auf dieſem Planeten Flecke verſchiedener Art, unter anderen ſehr nahe an ſeinen Polen zwei weiße, ſehr ſtark glänzende, die abwechſelnd wachſen und kleiner werden, je nachdem es daſelbſt Winter und Sommer iſt, und etwas unſerm Eis ähnliches zu ſeyn ſcheinen. Man hat Grund auch eine Mars-Atmoſphäre anzunehmen.

63. Jupiter iſt nach der Venus der glänzendſte Planet. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer beträgt $40''$ — $49''$: ſein wahrer Aequatordurchmeſſer beträgt 20018, ſein Polardurchmeſſer 18424 Meilen. Er dreht ſich in 9^h $55'$ $26'',56$ um ſeine Axe und in 11 J. 314 T. 20^h $2'$ $7''$ um die Sonne, von der er im Mittel 107 Millionen Meilen abſteht. Auf dem gelblichen Grunde dieſes Planeten bemerkt man graue Streifen, wovon zwei beſonders groß und mit dem Aequator parallel ſind. Die weiter nach N und S abſtehenden ſind minder ſcharf begrenzt, matter und kleiner. Sowohl dieſe als die Hauptſtreifen unterliegen ſtarken Veränderungen und ſind wahrſcheinlich Wolken,

die in der dichten Atmoſphäre dieſes Planeten minder ſchnell wechſeln als bei uns.

64. **Saturn** erſcheint mit etwas blaſſerem Lichte als ein Fixſtern der erſten Größe, unter einem Durchmeſſer von 15″ — 21″; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 17258 Meilen. Er erſcheint noch mehr abgeplattet als Jupiter. Seine Rotationszeit iſt 10^h 29′ 17″, ſeine ſideriſche Umlaufszeit 29 J. 166 T. 23^h 16′ 32″, ſein mittlerer Abſtand von der Sonne 197¼ Millionen Meilen. Seinen Aequator bezeichnet ein grauer Streif, ähnlich dem auf Jupiter bemerkten. Die merkwürdigſte Eigenſchaft dieſes Planeten ſind die ziemlich breiten und verhältnißmäßig ſehr dünnen Ringe, welche ihn in der Ebene ſeines Aequators umgeben. Der äußere Durchmeſſer des äußeren Ringes beträgt nach **Beſſel** 37587, der innerſte 25492 Meilen, mithin die geſammte Breite aller Ringe mit Inbegriff ihrer gegenſeitigen Abſtände 6047 M. Von der Oberfläche des Planeten ſtehet der innerſte Ring 4594 M. ab. Nach **Herſchel** liegen nicht alle dieſe Ringe in derſelben Ebene, ſondern ſind etwas gegen einander geneigt, ſie haben Ungleichheiten und Verbiegungen. Ihr Centrum fällt nicht genau mit dem des Saturn zuſammen. Dieſe Ringe rotiren ſelbſt um den Planeten. Man ſieht ſie der geringen Dicke wegen nur, wenn man ſich weit außer ihrer Ebene befindet.

65. **Uranus** erſcheint durch Fernröhre mit einem Durchmeſſer von 3″,5 — 4″,3 und einer merklich abgeplatteten Scheibe; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 7466 Meilen, ſein ſideriſcher Umlauf 84 J. 5 T. 19^h 41′,36″.

66. Die Planeten **Ceres**, **Pallas**, **Juno**, **Veſta** erſcheinen von ſehr geringem Durchmeſſer. Der kleinſte von ihnen iſt Veſta; ſein Durchmeſſer beträgt nur 58 Meilen; alle vier aber haben nach **Schröter** ein ſehr helles blendendes Licht und ſind vielleicht ſelbſt leuchtende Körper. Sie müſſen gewaltige Atmoſphären haben, weil ſie oft, beſonders Ceres, von einer Art Nebel eingehüllt erſcheinen, oft aber mit ganz reinem Lichte ſtrahlen.

67. Unter den Nebenplaneten kennen wir keinen ſo genau, wie den treuen Begleiter unſerer Erde, den **Mond**. An ſeiner Oberfläche bemerkt man ſchon mit freiem Auge ungleichartige helle und dunkle Flecken, mit Fernröhren aber blendend weiße, tief ſtahlgraue und grünlichgraue Stellen mit unzähligen Abſtufungen der Farbe. Sie erſcheinen anders bei voller Beleuchtung der Mondesſcheibe, als wenn nur ein Theil derſelben Licht bekommt, aber man muß ſie unter den verſchiedenſten Beleuchtungsverhältniſſen beobachten, um über ihre Natur nicht zu gewagte Schlüſſe zu ziehen. Die helleren Partien ſind meiſtens, aber nicht immer, gebirgig, die dunkleren verhältnißmäßig eben, die einzelnen glänzenden Puncte in der Regel ſchroff abſteigende Vertiefungen. Hie und da erkennt man am Monde Gebirgszüge wie ſie auf unſerer Erde vorkommen, doch laufen dieſe nicht wie die irdiſchen Gebirge in verſchiedenen Aeſten aus, ſondern erfüllen meiſtens ein großes Terrain. Iſolirt ſtehende Berge und Hügelgruppen kom=

men aber ſehr häufig vor. In den grauen, nicht ebenen Landſchaften beobachtet man ſogenannte Bergadern, die meiſt gerade fortziehen und Anfang und Ende in Ebenen haben. Sie ſind ſelten heller als ihre Umgebung und daher bei mäßig hoher Beleuchtung nicht mehr ſichtbar. Ganz verſchieden von den Gebirgsbildungen auf der Erde ſind die auf dem Monde häufig vorkommenden Ringgebirge. Sie bilden kreisförmige Wälle, die concav abfallende Tiefen rings umgeben und ſich beſonders durch ihre Größe von einander unterſcheiden. Die kleinſten Bildungen dieſer Art heißt man Krater oder Gruben, die größten, eine ebene Fläche einſchließenden Wallebenen. Die Ringgebirge kommen meiſtens nur in dem helleren Theile des Mondes vor und finden ſich in ihrer größten Ausbildung und Häufigkeit im ſüdlichen und ſüdweſtlichen Theile. Ihre innere Fläche iſt ſelten ganz eben, ſondern es kommen darin entweder iſolirte Bergkegel oder Hügelgruppen, wohl auch ſchmale aderartige Höhenzüge, kraterartige Vertiefungen und blaſenartig aufgeriebene Stellen vor. Nur ſelten ſind die da bemerkbaren lichteren Züge Erhöhungen. Die kleineren eigentlichen Ringgebirge finden ſich auf dem Monde in großer Anzahl und oft dicht zuſammengedrängt, ſie haben meiſtens rund herum dieſelbe Höhe und häufig nach innen und außen ein terraſſenartiges Abfallen. Innerhalb des Walls ſteht oft ein Centralberg, ſelten eine Hügelgruppe. Der Centralberg nimmt, wo er vorkommt, faſt immer die Mitte des Walls ein, erhebt ſich nie zur Höhe des Walls, ja er bleibt meiſt unter der halben Wallhöhe zurück. Die höchſten Centralberge haben nur eine Höhe von 4—5000 Fuß, während die Wallhöhe 12 — 16000 F. beträgt. Eine ſehr merkwürdige Bildung im Mond ſind die ſogenannten Rillen, nämlich ſchmale, tiefe Furchen, die meiſt gerade oder nur ſanft gebogen durch Ebenen und Gebirgsgegenden hinſtreichen. Sie erſcheinen im Vollmonde als glänzende Lichtlinien, bei ſchiefer Beleuchtung als ſchwarze Fäden; manche haben ſtellenweiſe Erweiterungen, als gingen ſie durch Krater, verzweigen und durchſchneiden ſich, durchſetzen hohe, ſteile Berge, ohne ihre Breite zu ändern. Man hat ſie, wiewohl gegen alle Wahrſcheinlichkeit, bald für Flüſſe, bald für Canäle oder Landſtraßen gehalten. Es gibt keinen Grund, auf der Mond-Oberfläche etwas unſeren Waſſerſammlungen ähnliches anzunehmen und ſelbſt die Vorausſetzung einer Mondatmoſphäre geſchah mehr aus Sympathie für die etwa vorhandenen Mondbewohner, als weil Beobachtungen dazu nöthigten.

68. Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt 51803 Meilen, ſeine ſideriſche Umlaufszeit 27 T. 7^h 43′ 11″.5, die tropiſche 27 T. 7^h 43′ 4″.7, die ſynodiſche aber, nach welcher dieſelben Phaſen wiederkehren, 29 T. 12^h 44′ 2″.9. Der Mondesdurchmeſſer erſcheint bei mittlerer Entfernung unter 31′ 3″.38, und beträgt 0,27234 Erddurchmeſſer oder 468 Meilen. Der Mond hat alſo eine 13.7mal kleinere Oberfläche und ein 49.6mal kleineres Volum als die Erde. (Kurzgefaßte Beſchreibung des Mondes von Mädler. Berlin 1839.)

69. Die phyſiſche Beſchaffenheit der übrigen Nebenplaneten iſt uns völlig unbekannt. Weil ſie bei ihrer ungemein großen Entfernung doch nur ſehr klein ſind, ſo zeigen ſie ſelbſt durch die beſten Fernröhre keine begrenzten Flecken, und man kann auf das Daſeyn von Unebenheiten auf denſelben nur aus der veränderlichen Stärke ihres Lichtes ſchließen. Am Saturnringe allein erkennt man, wenn er eine günſtige Lage hat, durch gute Fernröhre mehrere helle und dunkle Stellen, die auf bedeutende Unebenheiten ſchließen laſſen.

Zehntes Kapitel.

Urſache der Planetenbewegungen.

70. Die große Uebereinſtimmung in der Bewegung aller Körper des Sonnenſyſtems läßt ſchließen, daß ſie alle durch gemeinſchaftliche Kräfte hervorgebracht werden; ja man kann ſchon deßhalb die Vermuthung wagen, daß es nur eine einzige Kraft ſey, deren Wirkſamkeit durch die Entfernung der Planeten modificirt wird. Zur vollen Gewißheit wird dieſe Vermuthung erſt, wenn man die Erſcheinungen der Planetenbewegung nach mathematiſchen Principien beurtheilt. Da die Planeten krumme Bahnen beſchreiben, ſo muß durch ihre Bewegung ein Beſtreben entſtehen, ſich vom Mittelpuncte der Bahn zu entfernen (I. 315); weil dieſes aber nicht geſchieht, ſo muß auch eine andere Kraft da ſeyn, welche der Fliehkraft entgegen wirkt und deren Wirkung aufhebt. Weil die Planeten ſich ſo bewegen, daß die um die Sonne beſchriebenen Sectoren den Zeiten, in welchen ſie beſchrieben werden, proportionirt ſind; ſo muß ihre Bewegung eine Centralbewegung ſeyn und die Centripetalkraft muß in der Sonne ihren Sitz haben (I. 363). Weil die Bahnen der Planeten Ellipſen ſind, in deren einem Focus ſich die Sonne befindet, ſo muß, wie man ſtreng beweiſen kann, die Centripetalkraft abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Weil die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der halben großen Axen der Planetenbahnen proportionirt ſind, ſo iſt die Centripetalkraft der Sonne für alle Planeten von derſelben Natur und wird bloß durch die Entfernung modificirt (I. 365). Ja dieſe Kraft muß ſich auf jedes materielle Theilchen eines Planeten erſtrecken, weil ſonſt der Erfolg der Centripetalkraft auch von der Maſſe der Planeten abhängen müßte und das gerade genannte Kepler'ſche Geſetz nicht Statt finden könnte. Dieſes alles zuſammengenommen zeigt, daß alle Planeten in ihren Bahnen durch eine Anziehungskraft erhalten werden, welche in der Sonne ihren Sitz hat, auf alle materielle Theile mit gleicher Stärke wirkt und ſo abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt.

71. Da ſich die Nebenplaneten nach denſelben Geſetzen um die Hauptplaneten bewegen, wie dieſe um die Sonne, indem ſie um ihre Hauptplaneten Ellipſen beſchreiben, den Zeiten proportionirte Sec-

toren zurücklegen, und, wo deren mehrere einen Hauptplaneten begleiten, wie bei Jupiter, Saturn und Uranus, auch die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der Entfernungen proportionirt ſind; ſo muß auch von den Hauptplaneten eine Kraft ausgehen, welche dieſelben Geſetze befolgt, wie die Centralkraft der Sonne. Wiewohl dieſe Schlüſſe nur für Planeten gelten, welche Trabanten haben, ſo läßt ſich ſchon der Analogie nach ſchließen, daß auch die trabantenloſen Planeten von dieſem Geſetze keine Ausnahme machen werden, ja die runde Geſtalt derſelben iſt allein ſchon hinreichend, uns davon zu überzeugen, indem dieſe nur bei einem Beſtreben aller materiellen Theile nach einem gemeinſchaftlichen Mittelpuncte Statt finden kann.

72. Da nun die Intenſität der Centripetalkraft der Sonne und der Hauptplaneten ganz allein von der Entfernung abhängt, ſo muß ſich die Anziehung, welche in der Sonne ihren Sitz hat, nicht bloß auf die Planeten, ſondern auch auf ihre Trabanten und auf die Kometen erſtrecken, und die Anziehung der Hauptplaneten muß auch bis zur Sonne reichen. Man kann daher ſagen, dieſe Anziehung iſt wechſelſeitig, jeder Körper zieht alle andern an, jeder wird von allen andern angezogen und dieſe Anziehung muß mit der Menge der Materie zunehmen. Der allgemeinſte Ausdruck des Anziehungsgeſetzes iſt alſo $p \cdot \frac{M\,m}{D^2}$, wo M, m die einander anziehenden Maſſen ſind, D die Entfernung, in welcher ſie ſtehen, und p die Anziehung zweier Maſſen, deren jede $= 1$ iſt, in der Entfernung $= 1$ bedeutet, ſo wie in I. 128 als Lehnſatz angenommen wurde.

73. Die Leichtigkeit, mit der man aus dieſem Geſetze die Phänomene der irdiſchen Schwere erklärt, läßt ſchon vermuthen, daß dieſe Anziehung der Himmelskörper mit der irdiſchen Schwere einerlei ſey. Der Umſtand, daß dieſes Geſetz die Wirkung eines Körpers von ſeiner Maſſe abhängig macht, bringt dieſe Vermuthung faſt zur Gewißheit, aber unwiderleglich thut es folgende Betrachtung dar: Da ſich der Mond faſt in einem Kreiſe um die Erde bewegt, ſo gibt der Querſinus des beſchriebenen Bogens die Größe des Weges an, um den er ſich in einer Zeiteinheit durch Wirkung der Centripetalkraft der Erde nähern würde, wenn ihn nicht die Tangentialkraft ſeitwärts ablenke. Dieſer Querſinus läßt ſich aus der Beobachtung des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens finden. Sucht man aber den Weg, um den ſich der Mond in einer Zeiteinheit der Erde nähert, wenn die irdiſche Schwere ſich bis zu ihm erſtreckt, nach der Vorausſetzung, daß ſie abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt; ſo findet man bei Berückſichtigung der nöthigen Correctionen genau dieſelben Reſultate, wie durch das vorige Verfahren, zum Beweiſe, daß die Centripetalkraft der Erde, die den Mond erhält, eigentlich die Schwere der Erde ſey. Man kann daher wohl allgemein die der Materie eigene Anziehung Gravitation nennen und an ihr das unſichtbare Band erkennen, welches die Körper-

welt zuſammenhält, welches den wohlthätigen Lauf der Himmelkörper und den unbeachteten Fall eines Stäubchens nach denſelben Geſetzen regirt

74. Eine nothwendige Folge dieſes Geſetzes iſt, daß ſich nicht bloß die Planeten um die Sonne bewegen, ſondern daß ſich das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne um einen gemeinſchaftlichen Mittelpunct (Centrum der anziehenden Kräfte) dreht, der aber noch innerhalb des Sonnenkörpers liegt, weil die Sonne alle Planeten zuſammengenommen an Maſſe weit übertrifft; die Sonne hat daher nur wegen ihrer größeren Maſſe, nicht aber wegen einer phyſikaliſchen Eigenſchaft, die Macht, die Planeten um ſich herumzuführen. Könnte die Maſſe irgend eines Planeten ſo ſehr vermehrt werden, daß ſie die der Sonne und der übrigen Planeten überträfe, ſo würde dieſer die Sonne ihrer Würde entſetzen und ſie mit den übrigen Planeten um ſich herumführen. Ja gibt es unter dem Heere der Sterne einen, deſſen Maſſe die Summe der Maſſen der Sonne und der Planeten übertrifft; ſo muß das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne auf ähnliche Weiſe um ihn herumgehen, wie ſich z. B. Jupiter ſammt ſeinen vier Trabanten um die Sonne bewegt.

75. Eine andere Folge des allgemeinen Gravitationsgeſetzes iſt, daß die Planeten ſelbſt auf einander einwirken und ſich in ihren rein elliptiſchen Bewegungen ſtören; ja ſelbſt die Sonne muß einige Schwankungen erleiden, die aber wegen der relativ geringen Maſſe der Planeten ſehr unbedeutend ſind. Genaue und lang genug fortgeſetzte Beobachtungen zeigen dieſe Störungen (Perturbationen) genau ſo, wie ſie die nach dem Geſetze der Gravitation gemachten Rechnungen angeben; ſie lehren, daß die Planeten nach ihrer verſchiedenen Lage gegen einander auch verſchieden auf einander einwirken, bald rückwärts, bald vorwärts, bald zur Sonne hin, bald von ihr weggezogen werden, und daß ihre Geſchwindigkeit dadurch bald vermehrt, bald vermindert wird. Dadurch weicht der Ort, den ein Planet in ſeiner Bahn wirklich einnimmt, von dem ab, welchen er ohne Störungen nach der rein elliptiſchen Bewegung einnehmen würde, und ſelbſt alle Elemente der Ellipſen erleiden dadurch Veränderungen, ſie werden bald enger, bald weiter, ſchieben ſich um den Brennpunct, den die Sonne einnimmt, herum, und nur die Länge der großen Axe bleibt unverändert. Auf dieſe Weiſe erweitert ſich z. B. die Erdbahn beſtändig ſeit Jahrtauſenden, modificirt dadurch den Erfolg der Einwirkung der Sonne auf den die Erde begleitenden Mond ſo, daß ſeine Geſchwindigkeit ſtets, wenn auch nur ungemein wenig zunimmt, und eben daher kommt es auch, daß die Schiefe der Ekliptik ſeit ungefähr 4000 Jahren abnimmt. Es iſt wohl begreiflich, daß unter allen Einwirkungen, welche die Erde erleidet, die der Sonne wegen ihrer großen Maſſe und die des Mondes wegen ſeiner Nähe am bedeutendſten ſeyn müſſen. Für ſie wird ſogar die Geſtalt der Erde einen Einfluß auf die Größe und Be-

ſchaffenheit der Störungen haben, weil ihre Entfernung von der Erde nicht ſo groß iſt, daß man die Erde als Punct anſehen könnte, und dieſe auch keine Kugel iſt, bei der man die ganze Maſſe in einem Puncte vereinigt annehmen kann. Genaue, nach dem Gravitationsgeſetze angeſtellte Rechnungen lehren auch, daß durch dieſe Einwirkung auf die an den Polen abgeplattete Erde das Vorrücken der Aequinoctialpuncte und das Schwanken der Erdaxe hervorgebracht werde. Solche Rechnungen geben nicht bloß das Daſeyn gewiſſer Bewegungen, ſondern auch ihre Größe an; durch ſie hat man die Periode vieler Bewegungen früher kennen gelernt, als man ſie aus Beobachtungen abnehmen konnte, ja auf manche Phänomene iſt man früher durch Reſultate des Calculs aufmerkſam gemacht worden, als ſie durch Beobachtungen erkannt wurden, und in allen Fällen hat ſich das Gravitationsgeſetz als vollkommen richtig bewährt.

76. Aus dem Geſetze der Gravitation kann man auch die Maſſe, das abſolute Gewicht und die Dichte jedes Planeten, ſo wie den Raum berechnen, den auf ihm ein Körper im freien Falle in der erſten Secunde zurücklegt. Dieſe Berechnung gründet ſich auf Folgendes: Da die Anziehung jedem einzelnen materiellen Theilchen eigen iſt, ſo muß ſie mit der Maſſe des anziehenden Körpers zunehmen: andererſeits kann man aber die Anziehung durch den Querſinus des Bogens ſchätzen, der in einer Zeiteinheit zurückgelegt wird, und welcher deſto größer iſt, je ſchneller die Bewegung vor ſich geht, oder je kleiner bei derſelben Entfernung die Umlaufszeit iſt. Vergleicht man daher die Bahnen, welche in gleichen Zeiten um zwei Centralkörper zurückgelegt werden, ſo gibt ihr verkehrtes quadratiſches Verhältniß das der Maſſen der Centralkörper. Auf dieſe Weiſe hat man das Verhältniß der Sonnenmaſſe zur Maſſe jedes Planeten beſtimmt, der von Trabanten umgeben iſt. Die Maſſen der trabantenloſen Planeten muß man aus den Perturbationen, die ſie an der Erdbahn anrichten, abnehmen. Auf dieſem Wege hat man die Maſſe des Mars und der Venus kennen gelernt und ſich überzeugt, daß die Maſſe des Merkurs nur ſehr klein ſey, weil ſeine Störungen wenig merklich ſind, wiewohl man die wahre Größe derſelben nicht genau zu beſtimmen im Stande iſt. Indeß nimmt man ſie ſo an, wie ſie ſich aus der Wirkung auf den Enke'ſchen Kometen ergibt, der ihm im Jahre 1835 ſehr nahe kam. Aus der Maſſe, verglichen mit dem Volum, erkennt man die Dichte der Himmelskörper, ſo wie den Fallraum in der erſten Secunde, wie folgende Tafel zeigt.

	Maſſe.	Mittlere Dichte.	Fallraum eines frei fallenden Körpers in der erſten Secunde.
Sonne	345936	0.250	428 25 P. F.
Merkur	1.15	1,5	8 7
Venus	1.161	1,01	14 95
Erde	1.000000	1,00	15.1
Mars	0.129453	0,66	5.81
Veſta	0.000078	1,2	0 73
Juno	0.004078	0.53	2,13
Ceres	0.007559	0,16	2 85
Pallas	0.002815	0,94	0,64
Jupiter	303.14	0,239	37,59
Saturn	100.4	0,13	16 04
Uranus	16.9	0,185	12,7

77. Durch die hier betrachtete Gravitation bekommen die Himmelskörper ein Beſtreben, ſich der Sonne zu nähern. Zur Erklärung ihrer jährlichen Bewegungen iſt aber noch eine zweite momentan wirkende Kraft, die Tangentialkraft nothwendig. Nimmt man an, daß ein Planet durch was immer für eine Urſache einen nicht durch ſeinen Mittelpunct gehenden Stoß erhalten habe; ſo hat er dadurch die zur Centralbewegung nöthige Tangentialbewegung und zugleich ſeine Axendrehung erlangt. Der Parallelismus ſeiner Axe während der jährlichen Bewegung folgt unmittelbar aus der Trägheit der Materie. (I. 318.)

Eilftes Kapitel.

Fixſterne. Größe des Weltalls.

78. Bei weitem der größte Theil der ſichtbaren Sterne beſteht aus Fixſternen. Um ſie nur einigermaßen zu überſehen, hat man den ganzen Himmel gleichſam in Bezirke eingetheilt, die in jedem einzelnen vorkommenden Sterne Conſtellation oder Sternbild genannt und jedes mit einem beſonderen Namen bezeichnet. Von dieſen Namen läßt ſich aber durchaus nicht auf die Geſtalt, der die Conſtellation ähnlich iſt, ſchließen. Man lernt ſie kennen, durch Sternkarten, Himmelsgloben, noch leichter aber durch Burja's Abbildungen, wo jedes Sternbild auf ſtarkem Papier verzeichnet iſt, worin die Sterne durch runde Löcher vorgeſtellt werden. Es gibt 106 Sternbilder, wovon 45 der nördlichen und 61 der ſüdlichen Halbkugel angehören. (Eine nähere Beſchreibung der Sternbilder findet man in Voigt's Lehrbuch der populären Sternkunde. Weimar 1799. S.

72 — 190. Bode's Anleitung zur Kenntniß des geſtirnten Himmels. Berlin 1820. Neuer Himmelsatlas von Harding. Göttingen 1809. Atlas des geſtirnten Himmels von J. J. v. Littrow. Stuttgart 1839).

79. Der erſte Blick auf den geſtirnten Himmel lehrt ſchon, daß nicht alle Fixſterne gleich ſtark glänzen und daß einige derſelben vorzugsweiſe ſtark leuchten, andere hingegen ein ſo ſchwaches Licht haben, daß man ſie nur in ſehr heiteren Nächten ſieht. Die glänzendſten Sterne heißt man Sterne der erſten Größe, die nächſtfolgenden Sterne der zweiten Größe u. ſ. f. Mit freiem Auge ſieht man nur die Sterne der erſten ſechs Größen. Sterne der erſten Größe gibt es 18, der zweiten 55, der dritten 197 ꝛc. Die glänzendſten darunter ſind Sirius im großen Hunde und Kanopus im Schiffe. Das Licht des erſteren iſt nach Herſchel 324mal ſtärker als das eines Sternes der ſechsten Größe. Die Anzahl der Sterne der folgenden Claſſen wächſt mit der Zahl der Claſſen ſehr raſch. Die erſten ſechs Claſſen enthalten ſchon 5000 und die erſten eilf Claſſen nach Lalande 50.000 Sterne; die Sternemenge der folgenden Claſſen iſt unzählbar.

80. Bei weitem die meiſten Fixſterne haben ein conſtantes Licht und gehören demnach immer zu derſelben Größe, nur wenige zeigen einen Lichtwechſel. Einer der merkwürdigſten dieſer Art iſt Algol im Perſeus. Dieſer Stern erſcheint durch 61 Stunden in der zweiten Größe. Nach Verlauf dieſer Zeit nimmt ſein Licht durch 4 St. ab und er ſinket zur 4ten Größe herab; in dieſer verharrt er 18 Minuten, ſteigt dann innerhalb 4 St. wieder bis zur zweiten Größe, um abermals durch 61 St. dabei zu verharren. Ein Stern im Wallfiſche hat eine ſolche Periode von 332, ein anderer in der Waſſerſchlange eine von 494 Tagen. Man hat auch ſchon Sterne bemerkt, die plötzlich hell leuchtend erſcheinen, einige Zeit ſichtbar bleiben und dann eben ſo plötzlich wieder verſchwinden. Von der Art war der Stern, welcher 1572 in der Caſſiopea ſichtbar wurde. Er erſchien, übertraf bald alle andere Sterne an Lichtglanz, änderte ſeine Farbe öfters und verſchwand nach ſechs Monaten, ohne ſeinen Platz am Himmel zu verändern.

81. Die Fixſterne ſind nicht gleichförmig am Firmamente vertheilt, ſondern ſtehen an einigen Stellen dichter als an anderen. Vorzüglich dicht ſtehen ſie an jenem Jedermann bekannten lichten Streifen, der um das ganze Firmament herumgeht, ſtellenweiſe breiter und ſchmäler, an einigen Stellen in Arme verzweigt, an anderen ungetheilt iſt und den Namen Milchſtraße führt. Bei ſehr günſtiger Luft ſieht man darin Stellen von ungleicher Helligkeit und mit Parthien, wo hellere Stellen mit minder hellen abwechſeln. Außer der Milchſtraße gibt es wieder andere Gegenden des Himmels, wo man ſelbſt mit dem beſten Fernrohre keinen Stern wahrnimmt. Es hat demnach den Anſchein, als wären die Fixſterne eben ſo in einen ſchma-

len Gürtel zuſammengedrängt, wie es mit den Planeten im Thierkreiſe der Fall iſt. Es gibt wahrſcheinlich mehrere ſolche Syſteme, wie die Milchſtraße. Man findet nämlich am Himmel eine nicht unbedeutende (gegen 3000) Anzahl matt leuchtender Stellen, ſogenannter Nebelflecken, die ausſehen, wie die Milchſtraße aus einer unermeßlichen Entfernung von einem außer ihr befindlichen Punct erſcheinen würde. Sie haben meiſtens eine längliche Geſtalt, ja man kennt ſogar einen Nebelflecken (nahe bei μ des großen Bären), welcher der Milchſtraße mit ihren Verzweigungen ähnlich iſt. Befänden wir uns innerhalb eines ſolchen Flecken, ſo würde er die Erde wie ein Gürtel zu umſpannen ſcheinen, wie dieſes mit der Milchſtraße der Fall iſt. Uebrigens ſieht man gewiß nur einen ſehr kleinen Theil der vorhandenen Fixſterne, und doch iſt die Zahl der ſichtbaren ſchon übergroß. Herſchel konnte in der Gegend der Keule Orions in einem Streifen von 15° Länge und 2° Breite 50000 Sterne deutlich erkennen. Da dieſer Streif der 1375ſte Theil der Himmelsſphäre iſt, ſo müßte die ganze Oberfläche des Himmels 68755000 Sterne enthalten, wenn man annähme, daß ſie überall eben ſo dicht beiſammen ſtehen. Allein ſie ſtehen an vielen Stellen noch viel dichter und man kann ohne Uebertreibung annehmen, daß jede Quadratminute wenigſtens einen Stern enthalte und daher die Geſammtzahl der ſichtbaren Sterne über 148 Millionen ſey.

82. Nur von drei Fixſternen (α in der Leyer und die beiden Sterne des Doppelſternes 61 im Schwan) und da nur annähernd hat man die Entfernung beſtimmen können; von den übrigen weiß man nur die Grenze anzugeben, innerhalb welcher ſie nicht ſtehen. Sie befinden ſich nämlich gewiß nicht innerhalb einer Sphäre, deren Halbmeſſer 4 Billionen Meilen beträgt. Daß Körper, die aus ſo großer Ferne noch ſo hell erſcheinen, leuchtend ſeyn müſſen, iſt wohl für ſich klar.

83. Langjährige, mit vorzüglichen Inſtrumenten und großer Beharrlichkeit angeſtellte Beobachtungen haben gelehrt, daß mehrere Fixſterne nicht ſtrenge genommen an ihrem Platze verharren; doch ſind ihre Bewegungen der Richtung und Größe nach ſo complicirt und ſo wenig mit einander übereinſtimmend, daß die Wirklichkeit derſelben gar nicht als wahrſcheinlich angenommen werden kann. Es erklärt ſich aber Alles auf das natürlichſte und einfachſte, wenn man annimmt, daß unſer ganzes Sonnenſyſtem, d. h. die Sonne mit ihren Planeten, Kometen und Nebenplaneten im Raume fortſchreite. Die Richtung dieſer Bewegung haben drei Aſtronomen, Herſchel d. ä., Gauß und Argelander faſt übereinſtimmend nach einem Puncte hin gefunden, deſſen nördliche Abweichung etwa 32°, deſſen gerade Aufſteigung 260° (nach Argeländer iſt ſeine n. Abweichung 32° 19′, ſeine g. Aufſt. 259° 52′) beträgt. Dieſe Bewegung iſt höchſt wahrſcheinlich eine Centralbewegung, die um einen Centralkörper vor ſich geht. Dieſer muß wohl die Sonne und alles zu ihrem Syſtem gehörige an Maſſe übertreffen, braucht aber eben nicht ein leuchtender Körper zu ſeyn, wenn

es überhaupt erlaubt iſt, das Geſetz der Gravitation auch auf die Sternſyſteme außerhalb unſers Sonnenſyſtems anzuwenden. Dieſes anzunehmen, haben wir Grund in dem Umſtand, daß ſich die Gravitation weit über die Bahn des Uranus, alſo über die Grenzen unſeres Syſtems hinaus erſtreckt, indem der Halley'ſche Komet in ſeiner größten Entfernung doppelt ſo weit von der Sonne abſteht, als die Uranusbahn und doch noch den Geſetzen der Gravitation unterliegt, wie die Uebereinſtimmung ſeiner Bewegung mit den nach dem Geſetze der Gravitation geführten Rechnungen beweiſet.

84. Man hat ſogar Grund anzunehmen, daß es Fixſterne gebe, deren einer ſich um den andern oder die ſich gemeinſchaftlich um ihren Schwerpunct nach den Gravitationsgeſetzen bewegen. Es gibt nämlich am Himmel Sterne, die ſich mittelſt eines Fernrohres in zwei Sterne auflöſen laſſen. Man nennt ſie Doppelſterne. Solcher Sterne hat man über 2600 kennen gelernt. Manche Doppelſterne mögen aus zwei ſehr weit von einander abſtehenden Sternen beſtehen, die ſcheinbar in einen einzigen zuſammen fließen, weil der eine der geraden Linie ſehr nahe tritt, die man vom Auge des Beobachters zum andern zieht; andere Doppelſterne ſcheinen aber in der That zwei einander nahe Himmelskörper zu ſeyn. Genauen und anhaltend fortgeſetzten Beobachtungen zu Folge ändern viele dieſer Sterne ihre relative Lage gegen einander und das, was man bis jetzt über dieſe Bewegung kennen gelernt hat, iſt der Hypotheſe durchaus nicht entgegen, daß ſie eine Centralbewegung ſey und nach den Geſetzen vor ſich gehe, an welche die Bewegung unſeres Planetenſyſtemes gebunden iſt.

85. Aus allem Bisherigen geht hervor, daß das unendliche Heer der Himmelskörper aus mehreren Syſtemen beſtehe, deren Theile durch das Geſetz der gegenſeitigen Anziehung zu einem Ganzen vereiniget ſind. Das kleinſte dieſer Syſteme iſt das der Trabanten und ihres Hauptplaneten; das nächſt größere bilden die Planetenſyſteme, deren einem unſere Erde angehört. Millionen ſolcher Planetenſyſteme mit ihren Sonnen bewegen ſich um einen größeren Centralkörper und bilden wieder ein höheres Syſtem; eine ungemeſſene Zahl ſolcher Syſteme erkennt wieder einen andern Centralkörper als Beherrſcher und bildet ein Syſtem, wovon unſere Milchſtraße und vielleicht jeder Nebelfleck eines vorſtellt. Somit überſteigt ſchon der ſichtbare Theil der Schöpfung die engen Grenzen unſeres Verſtandes und doch iſt er gewiß nur der Vorhof des unendlichen Tempels, in welchen einzutreten oder auch nur einen Blick zu werfen, wahrſcheinlich keinem erſchaffenen Weſen dieſer Erde je erlaubt ſeyn wird.

Nähere Belehrung über dieſen Abſchnitt ſuche man außer den angeführten in folgenden Werken: Astronomie par M. de Lalande. Paris 1771 — 1781. Traité élémentaire d'astronomie physique par J. B. Biot. Paris 1844. Astronomie théo-

rique et pratique par M. de Lambre. Paris 1814. Aſtronomie von Bohnenberger. Tübingen 1811. Theoretiſche und praktiſche Aſtronomie von Littrow. Wien 1821. Traitè de mécanique céleste par P. S. Laplace. Paris VII. Traitè d'Astronomie théorique par Schubert. Pétersbourg 1822. Populäre Aſtronomie von J. Littrow. Wien 1825. Populäre Aſtronomie von Frankenheim. Zweite Auflage. Braunſchweig 1829. Vorleſungen über Aſtronomie von J. J. Littrow. Wien, 1830. Leicht faßliche Vorleſungen über die Aſtronomie von Kunczek. Wien, 1841. Populäre Aſtronomie von Dr. J. H. Mädler. Berlin, 1841.

Zweiter Abſchnitt.

Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel.

Beſchaffenheit der Erde im Allgemeinen.

86. Was über die Geſtalt und Größe der Erde bekannt iſt, enthält der erſte Abſchnitt dieſes Theiles. Es iſt aber überdieß noch die Dichte des Erdkörpers als phyſikaliſche Eigenſchaft deſſelben bemerkenswerth. Mit der Beſtimmung dieſer Größe haben ſich mehrere Gelehrte, wie Cavendiſh, Reich, Baily beſchäftiget. Man ließ zu dieſem Ende große Bleimaſſen auf Kugeln wirken, die ſich an den Endpuncten eines horizontalen Hebels befanden, der auf ähnliche Weiſe aufgehängt war, wie der Hebel in der Coulomb'ſchen Drehwage, und beſtimmte die Dauer einer Schwingung des Hebels unter dem Einfluſſe jener Maſſen. Verglich man nun dieſe Einwirkung mit jener der Erde auf ein gewöhnliches Pendel, ſo konnte man das Verhältniß der Bleimaſſe zur Maſſe der Erde und aus dem beſtimmten Volum der letzteren auf ihre Dichte ſchließen. Cavendiſh fand auf dieſem Wege die Dichte der Erde = 5.48, Reich = 5.44, Baily aber aus mehr als zweitauſend Verſuchen = 5.67 (Verſuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelſt der Drehwage von F. Reich. Freiberg 1838). Darnach ergibt ſich das Gewicht des ganzen Erdkörpers gleich $13^1/_2$ Quadrillionen Pfund. So weit wir die Erdrinde kennen, läßt ſich den oberen Schichten derſelben keine größere Dichte, als 2.7 zuſchreiben, und ſomit muß die Dichte der Erde gegen den Mittelpunct hin ſtark zunehmen.

Beachtenswerth iſt der zuerſt von Kooſen bemerkte Umſtand, daß, wenn man annimmt, die jetzt bekannten chemiſchen Grundſtoffe kommen im Erdkörper im Verhältniß ihrer Atomengewichte vor, man die Dichte der Erde = 5.6, mithin genau die von wirklichen Beobachtungen angegebene Zahl findet. (Kooſen in Erdmann's Journ. für pract. Chemie. 22. 490.)

87. Die Oberfläche der Erde iſt größtentheils vom Meere bedeckt, das feſte Land ragt aus dem Meere in Geſtalt drei ſehr großer

und vieler kleineren Inſeln hervor. Die größte darunter erſtreckt ſich von 73° nördlicher bis 35° ſüdlicher Breite, reicht von 0° — 210° der Länge, und umfaßt daher eine Ausdehnung von 108° in der Breite und von 210° in der Länge. Sie enthält Europa (phöniziſch: Land der Weißen), Aſien und Afrika (Sandland); die nächſt kleinere iſt Amerika, die dritte Auſtralien. Von den größten Inſeln der Erde, welche den Namen Welttheile führen, liegt nur Auſtralien ganz in der ſüdlichen Halbkugel, von den anderen hingegen befinden ſich Europa ganz, Afrika und Amerika größtentheils in der nördlichen Halbkugel; überhaupt verhält ſich in der ſüdlichen Halbkugel die vom Meere bedeckte Fläche zum feſten Lande wie 3 : 1, während dieſes Verhältniß in der nördlichen nahe 3:2 iſt, auch erſtreckt ſich das bekannte feſte Land in der nördlichen Hemiſphäre weiter gegen den Pol, als in der ſüdlichen. Dagegen hat die ſüdliche Erdhälfte vorzüglich viele kleine Inſeln, beſonders nahe am Aequator; die meiſten liegen aber einander ſehr nahe, ſo daß ſie immer ganze Gruppen bilden. Dieſes zeigt ſich beſonders an der Südſeite von Aſien, wo ſich die Inſeln Ceylon, Sumatra, Borneo, Java, Celebes, Mindanao, Neuguinea, die Molucken, die Philippinen, die Freundſchafts- und die Geſellſchaftsinſeln befinden. Vergleicht man die mittlere Dichte der Erde mit der des Waſſers und ſetzt die mittlere Tiefe des Meeres = 1000 Toiſen; ſo findet man, daß das Waſſer auf der Erde nicht ganz $^1/_{8000}$ der ganzen Erdmaſſe ausmache.

88. Der Umriß des feſten Landes und des Meeres iſt nicht von der Art, daß man darin etwas Regelmäßiges, an ein mathematiſches Geſetz Gebundenes wahrnehmen könnte. Nur das haben alle Continente mit einander gemein, daß ſie gegen Süden in eine hohe felſige Spitze auslaufen. Jede dieſer Spitzen iſt das äußerſte Ende eines plötzlich abbrechenden, nordwärts laufenden Gebirgszuges. Jeder größere Continent hat an der Oſtſeite ſeiner Südſpitze mehrere Inſeln. Die Continente der alten und neuen Welt hängen durch Landengen zuſammen. Uebrigens unterſcheiden ſich die Hauptländermaſſen, die ſogenannten Welttheile, durch ihre Geſtalt auf eine ſehr merkwürdige, mit der Entwicklung der Cultur des Menſchen in Beziehung ſtehende Weiſe von einander: Aſien und das damit zuſammenhängende Europa dehnt ſich vorzugsweiſe von Oſt nach Weſt, Amerika hauptſächlich von Nord nach Süd aus, während Afrika nach allen Richtungen faſt gleich ausgedehnt iſt. Die Längenausdehnung Europa's und Aſiens erſtreckt ſich von 0° — 210° öſtlicher Länge, jene Afrika's umfaßt nur 70°, die von Amerika etwa 120 Längengrade, während ſich Aſien nicht auf 90°, Europa gar nicht einmal auf 50° der Breite nach erſtreckt, Amerika aber in dieſer Richtung über 128°, alſo über ein Drittel des Erdumfanges einnimmt. Afrika hat die abgeſchloſſenſte Geſtalt und eine ſehr einförmige Küſtenperipherie ohne Einſchnitte und Buchten, es hat im Verhältniſſe ſeiner Oberfläche nur eine kleine Berührung mit dem Ocean. Aſien hat beſonders an ſeinen Oſt- und Weſtküſten weit vorſpringende Landzungen und große Einſchnitte. Es

hat um ein Viertel mehr Flächeninhalt als Afrika und eine faſt doppelt ſo große Küſtenlänge als dieſes. Europa hat die mannigfaltigſt geſtalteten Küſten, viele Landzungen und Halbinſeln, es hat viermal weniger Flächenraum und doch mehr Küſtenlänge als Afrika. Amerika endlich vereiniget in ſich die Geſtaltung Afrika's und Aſiens. Südamerika iſt am meiſten mit Afrika, Nordamerika mit Aſien übereinſtimmend. Die Inſeln zerfallen in Betreff ihrer Geſtalt in langgeſtreckte und runde. Erſtere liegen meiſtens reihenweiſe hinter einander, bilden gewiſſermaßen zuſammengehörige Ketten und haben im Innern meiſtens Bergreihen, die mit der Hauptausdehnung des Landes parallel laufen. Sie können als Splitter der ihnen nächſten größeren Continente angeſehen werden. Die runden Inſeln ſind ſelbſtſtändige Formationen ohne jene Bergketten und liegen theils hoch über dem Meere mit einer Haupterhöhung im Innern, theils ſind ſie nur wenig über die Oberfläche des Waſſers hervorragend; letztere ſind durchaus Werke der Korallenthiere.

Zweites Kapitel.

Gewäſſer der Erde.

89. Der größte Theil des Waſſers, welches den Erdboden bedeckt, bildet eine große zuſammenhängende Maſſe, das Weltmeer, und nur ein kleiner Theil deſſelben iſt über dem Feſtlande vertheilt und bildet mehr oder weniger bedeutende Anſammlungen deſſelben nämlich Quellen, Bäche, Flüſſe, Ströme und Seen. Alles Waſſer der Erde iſt in einem beſtändigen Kreislaufe begriffen. Es wird durch die Wärme in Dünſte verwandelt, ſteigt gegen Himmel und bildet die Wolken, fällt von dieſen wieder als Regen, Schnee, Hagel ꝛc. herab, dringt in die Erde ein, erſcheint wieder auf ihrer Oberfläche, und wird zuletzt dem Meere, als dem allgemeinen Waſſerbehälter, zugeführt.

90. Die Anfänge der fließenden Wäſſer auf der Erde bilden die Quellen. Sie entſpringen vorzugsweiſe an höher gelegenen Orten, jedoch nicht an den höchſten Puncten der Erdoberfläche. Es können mehrere Urſachen Quellen erzeugen und ſich ſogar bei derſelben Quelle mehrere zugleich wirkſam beweiſen. Am wirkſamſten erſcheint in dieſer Hinſicht das aus der Atmoſphäre gefallene Waſſer. Dieſes dringt in die Felſenritze ein, fließt darin fort, bis es einen Widerſtand findet, wird hydroſtatiſch gehoben und kommt daher an Stellen zum Vorſcheine, wo es die Beſchaffenheit des Bodens geſtattet. Auch das durchgeſickerte und zum Theile durch Druck, zum Theile durch Capillarität gehobene Meerwaſſer kann einigen Quellen Nahrung geben; allein Quellen dieſer Art müſſen ſich durch ihr ſalziges Waſſer von den anderen unterſcheiden, weil das Meerwaſſer durch bloßes Aufſteigen, ſey es auch durch die feinſten Spalten und Ritzen, von den che-

miſch damit vereinigten Stoffen nicht befreit werden kann; auch können ſolche Quellen nicht hoch über dem Meeresſpiegel liegen. Weil ſich im Inneren der Erde viele ausgebreitete Waſſerbehälter befinden müſſen, ſo iſt es auch denkbar, daß die durch Beſchaffenheit der Erde oder durch locale Urſachen bewirkte Erwärmung das Waſſer zum Verdünſten bringe; die Dünſte ſteigen in die Höhe, gehen durch Erkaltung wieder in tropfbaren Zuſtand über und kommen in ſolchem zum Vorſcheine. Es kann auch der Fall eintreten, daß das in der Erde vorhandene Waſſer durch die Kraft eines expanſiblen Körpers herausgetrieben wird und ſo nicht nur eine Quelle überhaupt, ſondern ſogar einen völligen Springbrunnen bildet.

91. Die verſchiedenen Quellen unterſcheiden ſich von einander durch die Menge, Beſchaffenheit und Temperatur ihres Waſſers und durch ihre Beſtändigkeit oder ihren Wechſel. Einige Quellen fließen ununterbrochen und man bemerkt durchaus keine regelmäßige Ab- und Zunahme ihres Waſſers; dieſes iſt beſonders bei den gebohrten (arteſiſchen) Springquellen der Fall, deren Waſſerbehälter ſehr tief liegt und von dem atmoſphäriſchen Einfluſſe nur wenig afficirt wird. Die meiſten Quellen erleiden aber durch den Einfluß der Witterung und der Jahreszeiten Aenderungen ihres Waſſerreichthums. Quellen, welche bloß vom Nebel und Regen geſpeiſet werden, nehmen im heißen Sommer allmälig ab und treten mit dem Beginne der feuchten und regneriſchen Jahreszeit wieder mit erneuerter Kraft ein; jene, welche ihr Waſſer dem geſchmolzenen Schnee der Gebirge verdanken, haben wieder im Sommer, wo der Schnee ſchmilzt, den meiſten Zufluß; andere ſtehen mit dem Charakter der herrſchenden Witterung in Verbindung (wetterlaunige Quellen), und wieder andere fließen beſtimmte Stunden oder Tage und ſetzen eben ſo eine beſtimmte Zeit hindurch aus, ohne von der Jahreszeit oder Witterung afficirt zu werden.

Zwei Quellen bei Wallis in Graubündten, die nur ungefähr 25 Schritte von einander entfernt ſind, fließen nur vom Anfange April bis in den Herbſt; eine andere im Canton Bern, der ſogenannte Engſtlerbrunnen, fließt von der Mitte Mai bis in die Mitte Auguſt, allein nur von 4 Uhr Nachmittags bis etwa 8 Uhr Morgens. In Peru auf dem Berge Piro ſoll eine Quelle ſeyn, die nur Nachts läuft, wenn es nicht zuvor geregnet hat. Eine Quelle bei Fontestorbe in den Pyrenäen ſoll in den Sommermonaten 36½ Minuten fließen, dann 32½ Minuten ausſetzen, und nur eintretender Regen ſoll einen ununterbrochenen Fluß bewirken. Eine andere bei Nismes gibt in 20 Stunden zweimal Waſſer, ſie fließt 7 Stunden lang und ſetzt dann durch 3 Stunden aus. Das Waſſer der Quelle in Plinius Landhauſe bei Como nimmt des Tages dreimal ab und zu. Dieſes periodiſche Fließen hat wahrſcheinlich darin ſeinen Grund, daß ſich im Innern der Erde ein Waſſerbehälter befindet, der mittelſt eines gekrümmten Hebers mit dem Ausflußorte der Quelle in Verbindung ſteht, wo dann natürlich die Heberwirkung nicht eher beginnen kann, als bis das Waſſer im Baſſin ſo hoch ſteht, daß der Heber gefüllt iſt; ſobald aber dieſes geſchieht, läuft es ganz aus. Die berühmte-

ſten periodiſch fließenden Quellen hat Island an ſeinen Springquellen aufzuweiſen. Aber die große Anzahl aller hier vorkommenden wird vom ſogenannten Geiſer übertroffen, der ſich zwei Tagreiſen vom Hekla befindet Es iſt hier eine natürliche Röhre von 19 Fuß im Durchmeſſer und von unbekannter Tiefe, über welcher ſich das Waſſer ein Becken gemacht hat, deſſen oberer Rand 9 Fuß hoch iſt und 56 Fuß im Durchmeſſer hat. Durch dieſe Röhre ſpringt das Waſſer ſiedend heiß verſchiedene Male des Tages auf eine Höhe von 90 Fuß, und führt oft Steine mit ſich auf eine bedeutende Höhe. Daß hier vulcaniſche Wirkung im Spiele ſey, erleidet wohl keinen Zweifel.

92. Die **Temperatur** der meiſten Quellen ſtimmt in der Regel mit der mittleren des Ortes überein, wo ſie entſpringen; nur in geringen Breiten iſt ſie etwas niederer als die des Ortes, in großen Breiten hingegen wieder etwas höher. Es gibt aber doch Quellen, deren Temperatur von der Wärme der Luft unabhängig iſt; am merkwürdigſten ſind jene, deren Temperatur viel höher iſt als jene der Luft, weil ſie häufig als Heilmittel gebraucht werden. Einige Quellen ſind ſtets wärmer als die Luft, andere kälter.

Auf dem Berge Pila in Frankreich befindet ſich Waſſer, welches das ganze Jahr hindurch ſo kalt iſt, daß man es nicht trinken kann; eine ähnliche Waſſerſammlung befindet ſich auf dem Berge Genevre. Medevi am Wetterſee in Schweden hält unveränderlich eine Wärme von $6^1/_2{}^\circ$. Uebrigens verſteht es ſich von ſelbſt, daß eine Quelle, die eine beſtändige Temperatur hat, welche der mittleren Wärme der Luft gleich iſt, im Sommer kälter, im Winter wärmer erſcheint als die Luft. Die warmen Quellen erhalten ihre Wärme durch örtliche Urſachen und ſind in der Regel Eigenthum vulcaniſcher Gegenden. Die vorzüglichſten heißen Quellen ſind die in Island, zu Karlsbad, Aachen, Baden bei Wien, Gaſtein im Salzburgiſchen, Abano bei Padua, Plombiers in Lothringen, Barege und Bagneres in den Pyrenäen, Aix in Savoyen, Bath in England, Mehadia in Ungarn. Die Temperatur warmer Quellen iſt verſchieden. Einige ſind nur lau, eine Quelle zu Abano bei Padua hat 66° R., eine bei Oelve auf Island 80°, der Sprudel in Karlsbad 55°, die Quellen zu Bath 37°, die heißeſte von Aachen 46°, von Barege $38^1/_4{}^\circ$, in Gaſtein 38°, in Plombieres 30°.4 – 53° 6. Einige dieſer Quellen haben, ſo weit unſere Wärmemeſſungen reichen, immer dieſelbe Temperatur gehabt, die ſie jetzt haben; andere ſind von ihrem Wärmegrade ſehr abgewichen, beſonders zur Zeit vulcaniſcher Ereigniſſe. Oſann in Pogg. Ann. 1 Erg. 475.

93. Da das Waſſer in der Erde, bevor es einen Ausgang findet, durch Gebirgsmaſſen fließen muß, welche mancherlei auflösliche Stoffe enthalten, da es ſelbſt Zerſetzungen im Boden bewirken kann, endlich oft auch vulcaniſche Producte, die im Inneren der Erde aufſteigen, von ihm aufgenommen werden; ſo darf man ſich nicht wundern, daß faſt nirgends reines Waſſer aus der Erde hervorkommt, ſondern daß dieſes immer fremdartige Beſtandtheile enthält. Dieſe ſind theils gasförmige, wie Kohlenſäuregas, Schwefelwaſſerſtoffgas, Stickgas, Kohlenwaſſerſtoffgas, theils feſte im gelöſeten Zuſtande, wie Kochſalz, kohlenſaurer Kalk und Kalkerde, kohlenſaures Eiſenoxydul, kohlenſaures Natrum, Glauberſalz, Bitterſalz, Alaun, ſchwefelſaures

Kali, Eiſen-, Kupfer-, Zink-Vitriol, einige ſalpeterſaure Salze, organiſche Stoffe (Quellſäure, Quellſatzſäure), ſeltener Kieſelerde, Flußſäure, Phosphorſäure. Am reinſten iſt das Quellwaſſer, welches aus Granit- oder Sandgebirgen hervorkommt, ohne jedoch ſo rein zu ſeyn, wie das Regenwaſſer. Es iſt merkwürdig, daß viele heiße Quellen ſo wenig mineraliſche Beſtandtheile enthalten und überhaupt ſo rein ſind, wie z. B. die heiße Quelle in Gaſtein, in Pfeffers, in Luxuril. Waſſer, das ſehr viele mineraliſche Beſtandtheile enthält, heißt Mineralwaſſer.

Am häufigſten kommt in Mineralquellen Kohlenſäure vor, und von daher erhalten ſie einen ſäuerlichen Geſchmack und heißen Sauerbrunnen, Säuerlinge. Solche ſind die zu Eger, Pyrmont, Marienbrunn; die zu Bilin, Selters, Spaa, Johannesbrunn ꝛc Waſſer mit kohlenſaurem Eiſenoxydul in reichlichem Maße heißen Eiſen- oder Stahlwaſſer, ſolche die viel Kochſalz enthalten werden Soolenwaſſer (Kreuznach, Halle), die viel Bittererde enthalten Bitterwaſſer genannt (Sedlitzer, Seidſchützerwaſſer); Schwefelalkalien-Waſſerquellen führen gemeinhin den Namen Schwefelwaſſer (Baden, Töplitz, Achen, Bareges, Abano). Vitriole führende Waſſer heißen Cementwaſſer (Quellen bei Neuſohl in Ungarn, bei Altenburg im Erzgebirge, bei Fahlun in Schweden). Sie verwandeln ſcheinbar Eiſen in Kupfer, weil ſich das Eiſen in der Schwefelſäure des Waſſers auflöſet und dafür das Kupfer zurückbleibt. Die Kalk- und Kieſelſinter führenden und meiſtens heißen Wäſſer haben die Eigenſchaft, hineingelegte Sachen mit einer Rinde zu überziehen und gleichſam zu verſteinern. Von der Art iſt beſonders das Karlsbader Waſſer, das bei Tours und bei Tivoli. Merkwürdig iſt in dieſer Hinſicht die Quelle von Quanca velica, 30 Meilen von Lima in Südamerika. Dieſe breitet ſich über das nächſte Land aus und verhärtet ſelbſt zu einem gelblichen Steine, den man von jeder beliebigen Form haben und dann zum Baue verwenden kann, wenn man dienliche Formen mit dieſem Waſſer füllt und ſie einige Zeit ruhig ſtehen läßt.

94. Daß aus der Erde hervorquellendes Waſſer häufig ſolche Stoffe mechaniſch mit ſich fortreißen müſſe, die es nicht chemiſch aufzulöſen vermag, iſt wohl begreiflich. Solche Subſtanzen ſetzen ſich aber, nachdem das Waſſer in Ruhe gekommen, von ſelbſt wieder ab, während man zur Beſtimmung der chemiſch vereinigten beſonders feiner chemiſcher Kunſtgriffe bedarf. Unter allen ſolchen mechaniſch mit dem Waſſer gemengten Stoffen ſind die brennbaren am merkwürdigſten, welche unter dem Namen Steinöhl und Naphta bekannt ſind.

Die Hauptgegend, wo ſich letztere Stoffe in Quellen befinden, iſt unweit der perſiſchen Stadt Baku. Sie ſchwimmen als ſpecifiſch leichtere Körper auf dem Waſſer der Quelle, das man in eigene Behälter leitet, um ſie abſchöpfen und als Handelsartikel veräußern zu können. Oft entzündet ſich die Naphta ſelbſt und dann erſcheint die ganze Waſſerfläche brennend; noch öfter wird ſie abſichtlich in Flammen geſetzt. An einigen Orten kommt ſie ohne Waſſer zum Vorſchein, wie dieſes am ſogenannten Feuerorte der Fall iſt, den die Perſer für heilig halten. Daſelbſt erſcheinen bei trockener Witterung ſtarke, gelblichblaue Flammen, die man mittelſt eines Fächers auslöſchen kann.

Die armen Bewohner der dortigen Gegend brauchen daher nur ein Rohr in den feſtgeſtampften Lehmboden ihrer Hütten zu ſtecken und ſeinem oberen Ende ein brennendes Papier zu nähern, um eine dauernde, etwa ½ Fuß hohe Flamme zu erhalten, die ihnen zu ihren Arbeiten Licht gibt. In China hat man eigens angelegte (gebohrte) Brunnen von 1000 bis 2000 Fuß Tiefe und 5 bis 6 Zoll Oeffnung, die Waſſer mit viel Salzgehalt und zugleich brennbares Gas liefern, das man in Röhren fortleiten und zur Beleuchtung benutzen kann. (Zeitſch. n. F. 2 284.)

95. Das Waſſer fließt von den Quellen vermöge ſeiner Schwere in tiefer gelegene Stellen, vereinigt ſich zu Bächen und endlich zu Flüſſen und Strömen, wovon ſich letztere ins Meer ergießen, mithin ihren urſprünglichen Namen vom Urſprunge bis zum Ausfluſſe ins Meer behalten. Die baumartige Verzweigung eines Fluſſes von ſeiner Mündung bis zu den Quellen aller ſeiner Zuflüſſe bildet ſein Flußſyſtem, die Fläche, die es bildet, ſein Stromgebiet.

Folgende Tabelle enthält das Stromgebiet der größeren Flüſſe in geographiſchen Meilen:

Flüſſe.	Geogr. Meilen.	Flüſſe.	Geogr. Meilen.
Amazonenfluß . . .	106000	Amur	36400
Miſſiſſippi	61400	Hoangho	33600
La Plata	55400	Jantſe-Kiang . . .	34200
Lorenzſtrom . . .	41100	Ganges und Buramputer	27000
Mackenzie	27600	Indus	19500
Nil	32600	Wolga	24800
Senegal	25600	Donau	14600
Zambeze	22000	Rhein	4080
Obi	57200	Po	1870
Jeniſei	48600	Rhone	1760
Lena	37100		

Wenn auch einige Flüſſe, wie z. B. der Don, der Tigris, der Hoangho aus Seen hervorfließen; ſo bekommen doch dieſe ihr Waſſer von Quellen, und man kann den Urſprung der Flüſſe aus Quellen für ein allgemeines Geſetz halten.

96. Die Quellen vieler Flüſſe liegen auf einem Gebirgskamm oder auf dem Rücken einer Hügelreihe, aber auch im flachen Lande finden viele Flüſſe ihr Entſtehen. Oft verfolgt das Waſſer zwei Flüſſe, deren Quellen einander ſehr nahe liegen, ganz entgegengeſetzte Richtungen.

97. Der Weg eines Fluſſes verfolgt immer die niedrigſten Stellen der Erdoberfläche. Da nun dieſe nicht in einer geraden Linie liegen, ſo muß auch die Richtung ſeines Laufes verſchieden ſeyn und ſein Bett muß mancherlei Krümmungen machen. Im Allgemeinen nimmt die Anzahl dieſer Krümmungen gegen den Ausfluß hin zu. Ungeachtet der vielfältigen Krümmungen eines Flußbettes hat doch der größte

Theil einerlei Strich und es iſt auffallend, daß bedeutende Flüſſe in ihrem Laufe mehr nach Oſt und Weſt, als nach Nord und Süd gerichtet ſind.

98. Die Neigung des Bettes gegen den Horizont oder deſſen Gefälle iſt bei den verſchiedenen Flüſſen verſchieden, ja ſelbſt derſelbe Fluß hat nicht an allen Stellen denſelben Abhang des Bettes. In der Regel iſt das Gefälle großer Flüſſe gegen den Urſprung hin am größten, gegen den Ausfluß am kleinſten. Ueberhaupt iſt ein Flußbett nicht wie eine mathematiſch geneigte Ebene anzuſehen, ſondern es gibt da eben ſo, wie auf dem feſten Lande, Anhöhen und Vertiefungen, nur iſt die Summe der erſteren kleiner als jene der letzteren, und die Differenz beider Summen gibt das eigentliche Gefälle. Das Gefälle wird oft durch jähe Abſtürze (Waſſerfälle) und durch aufſtauende Felſen unterbrochen.

Der Amazonenfluß hat auf 1000 Fuß nur $\frac{1}{27}$ Zoll Gefälle, die Loire $\frac{4}{5}$ F. Der Rhein zwiſchen Straßburg und Dortrecht $\frac{1}{6}$ F., die Donau zwiſchen Ulm und Donauwörth $\frac{1}{5}$ F. Die Loire fällt an einigen Orten um 1 F. in 1520 F., an anderen in 2490 F. Einer der bekannteſten Waſſerfälle iſt der des Staubbaches unweit Bern, der 900 F. hoch iſt. Der Niagara fällt bei einer Breite von 4000 F. nahe 160 F. hoch, der Velino bei Terni 300 F., der Rhein bei Schaffhauſen 75 F., der Bogota bei Tequendana 530 F. hoch.

99. Die Breite des Flußbettes iſt ſo veränderlich wie die Beſchaffenheit der Gegend, wodurch es geht. Oft engen es Gebirge bedeutend ein und bewirken dadurch ein Aufſteigen des Waſſers. Gegen den Ausfluß erweitert ſich gewöhnlich das Flußbett bedeutend, und theilt ſich auch nicht ſelten in mehrere Arme, deren Anzahl durch abgeſetzten Sand oft vermindert wird. Die Verengungen des Flußbettes befinden ſich in der Regel immer da, wo es von Felſenmaſſen durchzogen wird, die Katarakten oder Wirbel erzeugen.

100. Die Waſſermenge, welche ein Fluß führt, iſt in der Regel deſto größer, je länger ſein Lauf iſt und je mehr Nebenflüſſe oder Bäche er aufnimmt. Unter allen Flüſſen der Welt ſind die amerikaniſchen die größten. Die Waſſermenge eines Fluſſes iſt veränderlich. Durch das Schmelzen des Schnees oder durch häufige Regengüſſe ſchwellen die Flüſſe an, treten manchmal ſogar über ihr Bett hinaus und überſchwemmen das Land. Dieſes iſt beſonders bei ſolchen Flüſſen der Fall, in die ſich viele Nebenflüſſe ergießen. Am merkwürdigſten ſind aber jene Ueberſchwemmungen, die immer zu beſtimmten Zeiten eintreten, und von denen oft die Fruchtbarkeit des Bodens abhängt, wie beim Nil, Ganges, Euphrat, Indus, Miſſiſſippi, La Plata ꝛc. Auch haben mehrere Flüſſe das Maximum und Minimum ihres Waſſerſtandes zu beſtimmten Zeiten. Die Urſache der periodiſchen Erſcheinung liegt in den Regengüſſen, die im Flußgebiete zu beſtimmten Zeiten eintreten oder im Schmelzen des Eiſes und Schnees der Hochgebirge in den warmen Sommermonaten.

Der Nil iſt in Unter-Egypten Mitte Mai am kleinſten, Mitte Juni wird

ſein Steigen merklich, ſeine größte Höhe erreicht er in der erſten Hälfte Auguſt. Vom Anfang September an fällt er beſtändig. Der Unterſchied zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Waſſerſtande beträgt in Ober-Egypten 30 — 35 F., in Mittel-Egypten 20 — 25 F., in Unter-Egypten 20 — 25 F. Der Ganges fängt Ende April zu ſteigen an und fährt ſo fort bis Mitte Auguſt, wo er um 32 F. gewachſen iſt. Der Rhein ſteht bei Baſel im Jänner am niedrigſten, im Juli am höchſten, bei Köln und Emmerich hingegen im October am niedrigſten, im Februar oder März am höchſten, erreicht aber im Juli ein zweites Maximum, im Mai ein zweites Minimum. Elbe und Oder haben ein Maximum im März, ein Minimum im September oder October.

101. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in Flüſſen fortſchreitet, hängt hauptſächlich vom Gefälle ab und iſt in dieſer Hinſicht wie die Bewegung über eine ſchiefe Ebene zu betrachten. Allein die Geſchwindigkeit nimmt nicht beſtändig zu, wie dieſes bei einer ununterbrochenen ſchiefen Ebene der Fall iſt, weil auch das Flußbett dem Laufe des Waſſers viele Hinderniſſe in den Weg ſetzt, die Neigung deßhalb an vielen Stellen Unterbrechungen erleidet, viele die Geſchwindigkeit hemmende Serpentinen vorhanden ſind und ſich oft ein anderer Fluß einmündet, deſſen Richtung mit jener des Hauptfluſſes einen zu großen Winkel macht. Indeß nimmt doch die Geſchwindigkeit ſolcher Flüſſe, die eine ziemliche Strecke gerade fortlaufen, wie dieſes bei den amerikaniſchen faſt durchaus und bei den europäiſchen nahe am Ausfluſſe der Fall iſt, mit dem durchlaufenen Wege zu. Das Waſſer hat auch nicht in allen Theilen eines Querſchnittes dieſelbe Geſchwindigkeit. Ohne alle Hinderniſſe der Bewegung würde die Geſchwindigkeit mit der Tiefe zunehmen, und ein Fluß müßte am Boden die größte Geſchwindigkeit haben; allein wegen der Ungleichheit des Bodens befindet ſich die größte Geſchwindigkeit immer nahe an der Oberfläche. Eben ſo iſt die Geſchwindigkeit an verſchiedenen Puncten der Breite verſchieden, woran wohl die Hinderniſſe, welche die Ufer dem Fluſſe in den Weg ſetzen, den größten Antheil haben. Man nennt den Ort, wo die Geſchwindigkeit am größten iſt, den Stromſtrich. Dieſer befindet ſich bei geraden Ufern meiſtens in der Mitte, bei gekrümmten iſt er aber dem hohlen Ufer am nächſten. Da bei einem Fluſſe, der weder im Anſchwellen, noch im Abnehmen begriffen iſt, durch jeden Querſchnitt gleich viel Waſſer fließen muß, wenn ſich nicht inzwiſchen ein anderes Gewäſſer in ihn ergießt; ſo muß ſeine mittlere Geſchwindigkeit deſto größer ſeyn, je enger das Flußbett iſt. Im Durchſchnitte kann man die mittlere Geſchwindigkeit ſchiffbarer Flüſſe bei mäßiger Strömung mit 2 — 4 F., bei ſtarker mit 4 — 10 F. annehmen.

Der Connecticut hat dort, wo er durch Felſen ſehr eingeengt wird, eine ſolche Geſchwindigkeit, daß er die ſchwerſten Metalle mit ſich fortreißt, ohne ſie untergehen zu laſſen, und daß man ſelbſt mit Gewalt kein Brecheiſen ins Waſſer ſtoßen kann. Aus dieſem Grunde vermehren Brücken, Wehren, Separationswerke u. ſ. w. die Geſchwindigkeit der

Flüſſe ſo ſehr. Die ſchnellſten Flüſſe des Erdbodens ſind die Donau, der Indus, der Tigris und der Amazonenfluß. Die Donau hat bei Ulm 7 F., bei Paſſau 5 F. Geſchwindigkeit, der Rhein bei Baſel 4.3 F., bei Bonn 4.0 F., die Seine bei Paris 2 F., die Rhone bei Avignon 6 F. Geſchwindigkeit.

102. Die Oberfläche des Waſſers eines Fluſſes iſt nicht eben, ſondern convex oder hohl. Erſteres findet bei Flüſſen Statt, die in der Strombahn bedeutend ſchneller fließen, als in den übrigen Theilen; letzteres bemerkt man beim Auslaufe der Flüſſe ins Meer, wenn die Meeresfluth in ihr Gebiet eindringt; denn da vermindert ſie die Geſchwindigkeit des Waſſers außerhalb des Stromſtriches weniger als im Stromſtriche und macht, daß jenes höher ſteht als dieſes.

103. Das Flußwaſſer iſt ſo wenig rein als irgend ein Quellwaſſer, jedoch gibt es keinen Fluß, der ein mineraliſches Waſſer führt, wenn man einige kleine Bäche im ruſſiſchen Reiche und ein Paar Flüſſe in Nord-Afrika ausnimmt, die Kochſalz führen und wovon einige ſo ſalzig ſind, daß ihr Waſſer gar nicht getrunken werden kann. Die Beſtandtheile, welche das Waſſer mit ſich führt, kommen vom Boden des Flußbettes her, werden bei einem ſchnellen Laufe zum Theile mechaniſch mit fortgeriſſen und bei geringer Geſchwindigkeit wieder abgeſetzt. Von ſolchen Theilchen hat dann auch das Waſſer ſeine Farbe.

Das hellſte Waſſer führt der Euphrat und Ganges; der Nil hat ein weißes Waſſer, wenn er nicht hoch ſteht; die Donau, die Tiber und der Hoangho ſind immer trüb, letzterer von gelber Farbe. Der Nil führt gewöhnlich klares Waſſer, beim Anſchwellen iſt er röthlich. Der Schlamm, welchen er dann führt, ſoll $^1/_{132}$ ſeiner Waſſermenge betragen; er beſteht aus Thonerde, Kieſelerde, kohlenſaurem Kalk, kohlenſaurem Talk, Eiſenoxyd und Extractivſtoff. Nach Humboldt gibt es in Amerika einige kaffehbraune Flüſſe. Manche Flüſſe führen Gold in ihrem Sande, wie z. B. der Po, die Aar, die Phaſis in Aſien, und beſonders die Flüſſe in Guinea.

104. Es wäre ſehr intereſſant, die Waſſermenge zu kennen, welche alle Flüſſe zuſammen ins Meer tragen. Um dieſe zu finden, müßte man die mittlere Geſchwindigkeit und den Durchſchnitt jedes Fluſſes genau kennen, was aber bis jetzt bei weitem noch nicht der Fall iſt. Man nimmt faſt Allgemein, jedoch wie es ſcheint, ohne hinreichende Begründung an, daß durch einen Strom jährlich die Hälfte des auf ſein Gebiet fallenden atm. Waſſers fließe.

Der Miſſiſſippi ſoll im Durchſchnitte in einer Stunde 1980 Millionen engl. Kubik-Fuß Waſſer dem Meere zuſenden, der Ganges bei Sicligully 1800 Mill., der Indus im Auguſt 1606 Mill., im December 147 Mill., der Nil bei Sgout $2^1/_2$ Mill. Kubik-Meter, bei hohem Waſſer gar 37 — 40 Mill. Der Rhein bei Baſel 112 Mill., bei Emmerich 265 Mill. Kubik-Fuß, die Seine bei Paris 14 Mill., die Garonne bei Toulouſe 15 Mill. Kubik-Fuß.

105. Wenn das Waſſer wegen der zu tiefen örtlichen Lage

nicht abfließen kann, ſo bildet es einen See oder Sumpf. Erſteres findet dann Statt, wenn das Waſſer eine beträchtliche Ausdehnung und eine ſo große Tiefe hat, daß Waſſerpflanzen die Ebene der Oberfläche nicht zu häufig unterbrechen: letzteres hingegen, wenn die Oberfläche größtentheils durch Gewächſe, die am Boden wachſen, unterbrochen iſt.

106. Das Entſtehen eines Sees kann man ſich auf mannigfaltige Art erklären und die Richtigkeit dieſer Erklärungsarten an verſchiedenen Waſſerſammlungen nachweiſen. Entſteht eine ſehr waſſerreiche Quelle, die durch einen ſtarken Druck herausgetrieben wird, in einer keſſelförmigen Vertiefung; ſo muß das Waſſer den Keſſel ſo weit ausfüllen, bis es einen Abfluß findet oder bis die Oberfläche ſo weit vergrößert wird, um durch Verdünſtung ſo viel Waſſer zu verlieren, als die Quelle zuführt. Solche Seen gibt es in vielen Gebirgsgegenden und aus ihnen kommen oft die namhafteſten Flüſſe hervor. Es kann auch geſchehen, daß ein Fluß in einer Gegend in eine ähnliche keſſelförmige Vertiefung kommt, wo er ſich ausbreiten und ſo eine örtliche, einen kleinen See vorſtellende Erweiterung ſeines Bettes erleiden muß, oder daß er in ſeinem Laufe auf Hinderniſſe geräth, die eine Anſchwellung des Waſſers und dadurch einen See erzeugen. Hier kann das Waſſer, wenn es eine große Höhe erreicht hat, wieder abfließen, ſo daß es den Anſchein hat, als wenn der Fluß durch den von ihm unabhängig exiſtirenden See ginge, oder es kann die Waſſermaſſe ſo viel an Oberfläche gewinnen, daß der Verluſt durch Verdünſtung und der Zufluß durch den Strom ſich das Gleichgewicht halten. Im erſten Falle hat der See Zufluß und Abfluß, im zweiten Falle nimmt er auf ſichtbarem Wege Waſſer auf, hat aber keinen bemerkbaren Abfluß. Schon mancher See iſt durch einen Erdfall, durch einen vulcaniſchen Ausbruch oder durch Ueberſchwemmungen entſtanden.

In die Reihe der Seen der erſten Art gehört der Genferſee, durch den die Rhone fließt, der Koſtnitzer See, den der Rhein durchſtrömt, im öſterreichiſchen Salzkammergute der Traun- und Hallſtädterſee. Nord-Amerika hat deren ſehr viele aufzuweiſen. In die zweite zählt man den ungeheuren See, der gewöhnlich das caſpiſche Meer genannt wird, den Aralſee, das todte Meer u. ſ. f. Erſterer nimmt die Wolga, den Jaik und Emba, letzteres den Jordan auf, ohne einen ſichtbaren Abfluß zu haben. Oſtfriesland hat noch jetzt einen unterirdiſchen See, der mit einer feſten Erdrinde überzogen iſt. Stürzt dieſe ein, ſo iſt die Anzahl der Seen wieder um einen vermehrt. In Calabrien entſtanden beim Erdbeben im Jahre 1753 über 100 Seen. Der See Averno bei Puzzuolo verdankt einem eingeſtürzten Vulcane ſein Entſtehen.

107. Die Seen ſind auf der Erde verſchieden vertheilt, kommen jedoch in gemäßigten und kalten Gegenden häufiger vor, als in heißen, wahrſcheinlich weil daſelbſt die Verdünſtung durch die höhere Temperatur ſo ſehr begünſtigt wird, daß ihr ein Zufluß aus Quellen oder Flüſſen nicht ſo leicht das Gleichgewicht halten kann. Es iſt

kaum zu bezweifeln, daß die Seen ehemals in einer größeren Anzahl vorhanden waren, als jetzt. So ſcheint Böhmen ein ausgetrockneter Seegrund zu ſeyn. Nach Herodot war ganz Theſſalien ein von Bergen umſchloſſenes Gewäſſer. Das Verſchwinden der Seen kommt wahrſcheinlich auf Rechnung der Gebirgsdurchbrüche, durch welche ſich das Waſſer einen Ablauf bildete.

108. Die Größe und Geſtalt der Seen iſt ſehr mannigfaltig. Der caſpiſche See iſt einer der größten auf der Erde. Sein Flächeninhalt beträgt 5000 — 6000 Quadrat-Meilen. Von großer Ausdehnung iſt auch der Baikal- und Aral-See in Aſien, der Wenner- und Wetter-See in Schweden, der Ladoga- und Onega-See in Rußland. Bei den meiſten Seen iſt eine Dimenſion gegen die andere vorwaltend, beſonders bei denen, welche in Gebirgsgegenden vorkommen. Die im flachen Lande nähern ſich mehr der Kreisform.

109. Einige Seen haben eine ungeheure Tiefe, doch iſt dieſe eben ſo wenig unveränderlich als die eines Fluſſes. Gebirgsſeen nehmen zur Regenzeit bedeutend zu. Einige entleeren ſich gar periodiſch und füllen ſich dann wieder, wie dieſes beim Zirknitzer-See in Krain der Fall iſt.

Der Genfer-See iſt bei Evian 920 Fuß, der Thumer-See 720 F., der Luzerner- und Zürcher-See gegen 600 F. tief. Faſt immer hat ein See die größte Tiefe da, wo die Ufer am ſteilſten aufſteigen.

110. Das Seewaſſer iſt nicht rein, ſondern enthält die mannigfaltigſten chemiſch aufgelöſten und mechaniſch beigemengten Stoffe. Einige, wiewohl die wenigſten Seen führen eine bedeutende Menge aufgelöſtes Kochſalz, wie z. B. der caſpiſche See und viele im nördlichen Aſien. Einige Seen in Ungarn führen Natrum. Das ſogenannte todte Meer enthält, außer einer ſehr bedeutenden Menge Kochſalz, auch noch insbeſondere das ſogenannte Judenpech. Dieſes ſteigt vom Boden des Sees in die Höhe, nachdem Rauchſäulen und übelriechende Ausdünſtungen ſeine Ankunft verkündigt haben, welche große vulcaniſche Thätigkeit vermuthen laſſen.

111. Sümpfe und Moräſte entſtehen nur da, wo die Beſchaffenheit des Bodens und der Zufluß nicht ſo beſchaffen iſt, daß ſich ein See bilden könnte und doch das Waſſer nicht ablaufen kann. Die meiſten Sümpfe hat Afrika aufzuweiſen. Moräſte gibt es im nördlichen Europa in großer Menge und Ausdehnung. An vielen Stellen zieht man daraus Bäume hervor und gewinnt Torf.

112. Das Weltmeer iſt die ungeheure Waſſerſammlung, welche ein unter ſich zuſammenhängendes Ganzes ausmacht und das feſte Land von allen Seiten umgibt. Es dringt vielfältig in das feſte Land ein und bildet Arme, die man Meerbuſen nennt, wohl auch große Binnenmeere; hat in ſeinen Theilen verſchiedene Benennungen, welche von angrenzenden Ländern, von ihrer Lage gegen die Weltgegenden, wohl auch von minder weſentlichen Merkmalen hergenommen ſind und überhaupt viel Willkürliches an ſich haben. Die

vorzüglichſten Theile des Weltmeeres ſind: 1) Das atlantiſche Meer, zwiſchen Europa und Nordamerika bis zum nördlichen Polarkreiſe; 2) das äthiopiſche Meer, zwiſchen Afrika und Südamerika; 3) das indiſche Meer, zwiſchen den beiden Halbinſeln Indien und der Oſtküſte Afrika's; 4) das ſtille Meer von der öſtlichen Grenze des indiſchen Meeres bis zur Weſtküſte von Amerika; 5) das nördliche Eismeer, vom Nordpole bis an die Nordküſten von Europa, Aſien und Amerika; 6) das ſüdliche Eismeer, vom Südpole bis zum äthiopiſchen, indiſchen und ſtillen Meere. Die vorzüglichſten Meerbuſen ſind das mittelländiſche Meer, das ſelbſt wieder als beſondere Meerbuſen das adriatiſche und ſchwarze Meer bildet, die Oſtſee, das weiße Meer, das rothe Meer (arabiſcher Meerbuſen), der perſiſche Meerbuſen, die Meerbuſen von Bengalen und Siam, von Cochinchina und Kamtſchatka (Ochotzker Meer) und von Californien, der mexikaniſche Meerbuſen, die Baffins- und Hudſonsbai ꝛc.

113. Die Seiten des Meerbeckens, welche man insgemein **Küſten** nennt, erheben ſich an vielen Orten weit über die Fläche des Meeres und fallen ſteil gegen das Waſſer ab, an anderen ſind ſie nicht viel höher als der Waſſerſtand. Hohe, ſchroffe, felſige Küſten ſind meiſtens dort, wo das Meer tief und ſehr ſtürmiſch iſt, ſie ſind aber wahrſcheinlich durch das Meer ſelbſt erzeugt, indem das Land ſo lange weggeſchwemmt und untergraben wurde, bis Felſen dem weiteren Vordringen ein Ende machten. Durch allmälige Vergrößerung ſchließen ſie ſich an die Küſten unmittelbar an und werden zu einem eigentlichen Geſtade. Von dieſen muß aber der ſogenannte **Strand** unterſchieden werden, d. i. derjenige Theil des Meerufers, der nur bei niedrigem Waſſer aus demſelben hervorragt, bei hohem aber von demſelben überdeckt wird und den landenden Schiffen große Gefahr bringt. Ein Strand kann durch günſtige Umſtände zu einer Düne und endlich gar zu feſtem Geſtade werden. Es iſt merkwürdig, daß nicht der Waſſerſpiegel aller Waſſerſammlungen in derſelben Höhe liegt; doch iſt hierüber viel Unwahres und Uebertriebenes behauptet worden. Angeſtellte Meſſungen haben bei zuſammenhängenden Meeren nur ſolche Niveau-Unterſchiede kennen gelehrt, die innerhalb der Grenzen der möglichen Meſſungsfehler liegen; nur zwiſchen dem Weltmeere und den abgeſchloſſenen fälſchlich Meere genannten Waſſerſammlungen kann eine bedeutende Niveau-Differenz als erwieſen angeſehen werden. So z. B. ſoll das caſpiſche Meer um 76 P. F. tiefer als der Ocean und das todte Meer um 1250 F. tiefer als das mittelländiſche Meer liegen. (Pogg. Ann. Erg. 1. 356)

Die höchſte bekannte Küſte der Erde iſt die an der Weſtſeite von St. Kilda, einer der hebridiſchen Inſeln; ihre Höhe beträgt gegen 600 F. über die Meeresfläche. Die norwegiſchen Ufer ſind auch faſt durchgängig ſteil und hoch. Zu den niedrigſten Küſten gehören jene von Holland, die eigentlich durch Kunſt dem Meere abgewonnen wurden und häufig niedriger als das Waſſer ſind. Niedrige Ufer haben oft in der Nähe lange, über den Waſſerſtand hervorragende Sandhügel,

welche durch das Meer oder durch Flüſſe angeſchwemmt wurden und Dünen heißen.

114. Der Meeresboden iſt im Ganzen wenig bekannt. Es läßt ſich aber ohne weitere Unterſuchung einſehen, daß er ſo wie das feſte Land Erhöhungen, Thäler und Ebenen habe. Die meiſten Inſeln liegen in dem Zuge, in welchem die Gebirgskette eines nahen feſten Landes liegt, zum Beweiſe, daß dieſe Ketten ſelbſt unter dem Meere fortlaufen. Auch das Geſtein, welches die Küſten bildet, findet man gewöhnlich noch eine ziemliche Strecke weit vom Lande, ſo daß man wohl annehmen kann, die Beſtandtheile des feſten Landes ſeyen mit denen des Meerbodens im Allgemeinen übereinſtimmend. Eine merkwürdige Eigenthümlichkeit des Meerbodens ſind die Korallenbänke. Dieſe ſind anorganiſche (aus kohlenſaurem Kalk beſtehende) Rückſtände abgeſtorbener kleiner Thiere einer eigenen Familie, die ſich fortwährend aus einander entwickeln, Kalkerde abſondern und dieſe als eine feſte Unterlage abſetzen. Man hat dieſe Thiere lebend immer in geringen Tiefen, in ungetrübtem Waſſer, unter dem Einfluſſe des Lichtes angetroffen, Korallenriffe aber ohne ſolche Thiere in ſehr großen Tiefen und ſelbſt über das Niveau des Meeres hoch aufſteigend.

115. Von den Erhöhungen und Vertiefungen des Meerbodens hängt die Tiefe des Meeres ab. Man hat bis jetzt wenige genaue Reſultate über dieſen Punct, weil eine ſolche Unterſuchung zu ſchwierig iſt. Das ſicherſte Mittel, die Tiefe zu meſſen, iſt ohne Zweifel ein an einer langen Schnur hängender Körper von Blei; allein dieſer läßt ſich nur bei geringen Tiefen anwenden, weil bei großer Tiefe das Blei durch die Schnur, welche ſpecifiſch leichter iſt als das Waſſer, getragen wird und daher nicht bis auf den Boden hinabſinkt. Deßhalb bedient man ſich zur Erforſchung bedeutender Tiefen ſogenannter Bathometer.

Ein Inſtrument dieſer Art gab Hook an. Es beſteht aus zwei an einander gehängten Körpern, wovon der eine ſpecifiſch ſchwerer, der andere ſpecifiſch leichter iſt als Waſſer. Läßt man ſie ins Waſſer, ſo macht ſich der leichtere alſogleich vom ſchwereren los, ſobald er den Meeresboden erreicht hat, und ſteigt in die Höhe, ſo daß man aus der Zeit, welche verfloß vom Augenblicke des Unterſinkens bis zum Emportauchen, die Tiefe berechnen kann. In der Regel nimmt die Tiefe zu, wie man ſich vom feſten Lande entfernt, und zwar deſto ſchneller, je ſteiler die Küſten aufſteigen. Sehr ſteile Küſten haben ſelbſt zunächſt an ſich ſo große Tiefen, daß Schiffe nicht ankern können, während ihnen flache Ufer wegen zu großer Seichtigkeit keine Annäherung geſtatten. Merkwürdig iſt der ſchnelle Wechſel der Tiefe in Gegenden, wo ſich Korallen- oder Sandbänke befinden. Als Beiſpiel von Sandbänken mögen die großen Sandbänke in Neufoundland dienen, wovon die größte 80 See-Meilen lang, 20 breit iſt und 40 Klafter unter Waſſer ſteht, ſo daß die Schiffe ohne Gefahr darüber ſegeln können, zu beiden Seiten aber iſt das Meer unergründlich tief.

116. Die Farbe des Meerwaſſers iſt gewöhnlich grünlich, ins Blaue ſpielend; jedoch können der verſchiedene Zuſtand der Luft,

die Beſchaffenheit des durchſcheinenden Bodens, beigemiſchte organiſche Stoffe die Farbe verſchieden modificiren. An den weſtindiſchen Inſeln iſt das Waſſer ſo durchſichtig, daß man auf dem mit weißem, reinen Sande bedeckten Grunde jeden kleinen Gegenſtand bemerkt, und ein Fahrzeug in dieſem Gewäſſer wie in der Luft zu hängen ſcheint.

Von beſonderer Klarheit ſoll das Waſſer im arabiſchen Meerbuſen ſeyn; im rothen Meere erſcheint es wegen der häufigen Korallen röthlich. Bei ſtürmiſchem Wetter erſcheint das Meer weiß; vor der Mündung des La Plataſtromes hat man es oft roth gefunden und Gewürme als die Urſache dieſer Färbung angeſehen. An der weſtlichen Seite Afrika's, zwiſchen 20 — 34° nördlicher Breite und um Florida iſt das Meer wie eine Wieſe grün gefärbt, weil es von organiſchen Stoffen ganz überzogen wird.

117. Eine für die Seefahrer ſehr intereſſante Erſcheinung iſt das **Leuchten** des Meeres. Oft läßt nämlich ein Schiff ſo, wie es das Waſſer durchſchnitten hat, leuchtende Furchen hinter ſich, manchmal bemerkt man aber nur da Licht, wo die Wellen zuſammenſchlagen; oft erſcheint eine bedeutende Strecke wie mit unzähligen Sternen bedeckt. Es iſt als ausgemacht anzuſehen, daß dieſes Phänomen durch kleine Thiere (Meduſen, Salpen, Beroen, Phyſalien, Phyſſophoren, Rizophyſen ꝛc.) hervorgebracht werde, die vorzüglich im Leben, aber auch noch im Tode phosphoresciren, beſonders wenn dieſes durch Reibung und Wärme begünſtiget wird.

118. Das Meerwaſſer enthält viele Salze aufgelöſet, hauptſächlich Kochſalz. Das Verhältniß dieſer Salze iſt ziemlich beſtändig, ihre Menge iſt größer in Meeren, die einer ſtarken Verdunſtung unterliegen oder wo ſich viel Eis bildet, geringer in Binnenmeeren und Meerbuſen, wohin ſich ſtarke Ströme ergießen, wo viel Regen fällt oder viel Eis ſchmilzt. In der Tiefe ſcheint der Salzgehalt von dem an der Oberfläche nicht verſchieden zu ſeyn. Nach Maßgabe des Salzgehaltes iſt auch das ſpecifiſche Gewicht des Meerwaſſers größer oder kleiner. Das durchſchnittliche ſpecifiſche Gewicht iſt 1.02. Von den aufgelöſeten Salzen rührt der bittere und ſalzige Geſchmack des Meerwaſſers her.

Das Waſſer des atlantiſchen Meeres iſt ſalziger als jenes der Südſee, und der indiſche Ocean iſt gegen den atlantiſchen Ocean hin ſalzreicher als gegen die Südſee zu. Im atlantiſchen Meere iſt die Salzigkeit am weſtlichen Theile größer als am öſtlichen; die Südſee ſcheint aber in allen Längengraden einerlei Salzigkeit zu haben. In den großen Oceanen gibt es ſowohl im nördlichen als ſüdlichen Theile ein Maximum der Salzigkeit. Das nördliche ſteht weiter vom Aequator ab, als das ſüdliche. An allen Stellen, wo das Meer tiefer iſt und welche von den Küſten entfernter ſind, iſt auch das Waſſer ſalzreicher; Meerbuſen, die mit dem großen Oceane nur durch ſchmale Canäle zuſammenhängen, ſind ärmer an Salz als der weite Ocean; das mittelländiſche Meer iſt allein der ſtärkeren Verdünſtung wegen daran reicher. Große ſich ins Meer ergießende Ströme äußern ihren Einfluß auf den Salzgehalt oft meilenweit von der Mündung. Nach **Lenz** (Pogg. Ann. 20. 73) iſt der Salzgehalt des Meeres vom Aequator bis 45°

Breite in allen Tiefen innerhalb 1000 Klaftern derſelbe. Marcet hat im Waſſer aus dem atlantiſchen und Laurens aus dem mittelländiſchen Meere an feſten Beſtandtheilen nachfolgende Quantitäten für 1000 Theile Waſſer gefunden:

Name.	Atlant.	Mittell.
Chlornatrium	27.22	26.60
Chlormagneſium	6.14	5.15
Chlorcalcium	—	1.23
Schwefelſaure Bittererde	7.02	—
Schwefelſaurer Kalk	0.15	—
Schwefelſaures Natrum	—	4.66
Kohlenſauren Kalk	0.01	—
Kohlenſaure Bittererde	0.19	—
Kali	0.01	—
Summe	40.74	37.64

Pfaff hat Jod und Brom im Meerwaſſer nachgewieſen.

119. Wiewohl das Meer im Ganzen keine von ſeiner Schwere abhängende fortſchreitende Bewegung hat, ſo gibt es doch mannigfaltige Bewegungen ſeiner Fluthen, die oft für die Schifffahrt von großer Bedeutung ſind. Dahin gehören die Ebbe und Fluth, beſtändige, periodiſche und unregelmäßige Strömungen und endlich der Wellenſchlag.

120. Unter Ebbe und Fluth verſteht man das periodiſche Abnehmen und Anſchwellen des Waſſers, deren jedes täglich zweimal erfolgt. Ungefähr 6 Stunden nach der Fluth tritt die Ebbe ein, und dieſe wechſelt nach einer gleichen Zwiſchenzeit wieder mit der Fluth; doch verſpätet ſich die periodiſche Wiederkehr der Fluth täglich um ungefähr ſo viel, daß ihre Periode genau mit der halben täglichen Umlaufszeit des Mondes zuſammenfällt. In offener See ſchwillt das Waſſer von Oſten her an und läuft gegen Weſten wieder ab; an den Küſten wird aber ſowohl die Richtung, als die Geſchwindigkeit und Größe des Zu- und Abſtrömens durch die beſondere Lage und die Krümmungen der Küſten, durch Strömungen, wohl auch durch das Einmünden der Flüſſe und durch Winde bedeutend modificirt.

Die Höhe der Fluth iſt nicht immer dieſelbe, ſondern unterliegt bedeutenden Veränderungen, und dieſe ſtehen in deutlicher Beziehung mit den Mondesphaſen und mit der Entfernung des Mondes von der Erde. Gegen die Zeit des Vollmondes und des Neumondes wachſen ſie und gegen die Zeit der Viertel nehmen ſie wieder ab; doch treffen die größten Fluthen (Springfluthen) erſt 1½ Tag nach dem Voll- oder Neumonde ein, und auch die kleinſten (Nippfluthen) fallen nicht genau auf die Mondesviertel. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beſchleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Oppoſition der Quadratur zugeht, und verzögert, wenn derſelbe von der Quadratur

der Conjunction und Oppoſition entgegengeht. Selbſt die Springfluthen ſind periodiſchen Ungleichheiten unterworfen; ſie ſind zur Zeit der Nachtgleichen am größten, zur Zeit der Sonnenwenden am kleinſten, doch ſind wieder in den Wintermonaten die Springfluthen der nördlichen Halbkugel Morgens ſtärker als des Abends, umgekehrt in den Sommermonaten. So wie ſich die Sonne, noch mehr aber der Mond der Erde nähert, wachſen die Fluthen ſo, daß die größten aller Fluthen dann eintreten, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu- oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zuſammentrifft.

Zwiſchen den Orknei- und den ſchetländiſchen Inſeln fließt das Waſſer von NW. zu und nach SO. ab, in der Davisſtraße kommt es von S. und fließt nach N. ab. Die mittlere Geſchwindigkeit des Zu- und Abfluſſes wird in offener See zu 2 F. angenommen, an den Küſten fällt ſie oft ſo klein aus, daß auf einen Tag ſtatt zwei Fluthen nur eine kommt, wie dieſes bei Weſtindien der Fall iſt; auch erfolgt der Zu- und Abfluß nicht immer mit derſelben Geſchwindigkeit. In der Meerenge von Malacca fließt das Waſſer einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lang zu und nur 3 Stunden lang ab; bei Vera Cruz dauert der Zu- und Abfluß gar 24 Stunden, und es herrſcht daſelbſt während eines Tages gar nur eine Fluth und eine Ebbe.

Beim Ausfluſſe der Elbe beträgt der Unterſchied zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Waſſerſtande 10 — 12 Fuß. Bei den canariſchen Inſeln ſteigen die Springfluthen auf 7 — 8 F., an den portugieſiſchen und ſpaniſchen Küſten auf 12 F., in der Bai von Biscava auf 15 F., in der Bai von St. Malo auf 15 F., bei Cherbourg beträgt die Fluthhöhe 19 F., bei Cowes 14 F., bei Havre und Dovre 18 F., bei Dieppe und Calais 17 F. Die Fluth reicht oft weit in die Flüſſe hinein und erzeugt an den Mündungen Sandbänke (Barren).

121. Man leitet heut zu Tage allgemein Ebbe und Fluth von der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes ab und rechtfertiget dieſes durch genaue Berechnung dieſer Phänomene aus der Gravitation. Dieſe Berechnung beruht auf Folgendem: Es ſey C (Fig. 395) der Mittelpunct der Erde, dieſelbe ſey ringsum von Waſſer bedeckt und dieſes habe in jenem Gleichgewichtszuſtande, in welchen es bloß durch die irdiſche Schwere verſetzt wird, die Geſtalt a c b d. Iſt A ein Körper, der anziehend auf die Erde wirkt, und ſeine Entfernung von derſelben von ſolcher Größe, daß gegen ſie der Erdhalbmeſſer nicht verſchwindet und daher die Theile in a, c, b, d, C eine verſchiedene Anziehung erleiden; ſo kann das vorige Gleichgewicht nicht weiter beſtehen und die Flüſſigkeit wird eine andere Geſtalt annehmen müſſen, damit wieder Gleichgewicht eintrete. Da a mehr gegen A hin gezogen wird, als C, dieſes hingegen mehr als b, ſo wird ſich dem Körper A die Oberfläche des Waſſers in a mehr, in b aber weniger nähern, als der feſte Theil der Erde, deſſen Annäherung an A jener ſeines Mittelpunctes gleich iſt, und das Waſſer nimmt demnach die Geſtalt $\alpha\gamma\beta\delta$ an. Wenn die Erde keine Axendrehung und der Körper A keine Bewegung hätte, ſo käme das Waſſer in dieſer Form

ins Gleichgewicht; vermöge der Axendrehung der Erde und der Bewegung des Körpers A um dieſelbe bleibt es aber in ſteter Bewegung, es ſtrömt fortwährend von c und d nach a und b hin, aber die Stellen a und b rücken ſelbſt um die ganze Erde herum. Iſt nun A der Mond, ſo begreift man leicht, daß durch ihn täglich an derſelben Stelle zwei Fluthen und zwei Ebben hervorgebracht werden. Auf ähnliche Weiſe wirkt auch die Sonne, aber die von ihr erzeugten Fluthen werden kleiner ſeyn, ungeachtet ihre Anziehung größer iſt, als jene des Mondes, weil ihre Entfernung von der Erde ſo groß iſt, daß die Unterſchiede der Anziehung auf die Puncte a, b, c, d und C viel geringer ſind, als bei der Wirkung des Mondes. Fallen die von der Sonne und die vom Monde herrührende Fluth zuſammen, ſo geht daraus eine Springfluth hervor; fällt die Mondesfluth in die Sonnenebbe, ſo reſultirt daraus eine Nippfluth.

Hier wurde der Leichtigkeit wegen die ganze Erde mit Waſſer bedeckt angenommen. Wenn auch dieſes in der Wirklichkeit nicht Statt findet, ſo wird dadurch im Weſen der Theorie doch nichts geändert, ſondern es werden nur locale Abänderungen hervorgebracht. (Eine genaue Theorie dieſer wichtigen Erſcheinung findet man in La Place Mécanique céleste, T. II. p. 63 et s. T. V. p. 145 und in Schmidt's Handb. der math. und phyſ. Geographie. Göttingen 1830. B. 2. S. 532. Eine populäre Darſtellung gibt Schumacher's Jahrbuch für 1838. S. 182.)

122. Die Strömungen ſind vorzüglich für die Schifffahrt von großer Wichtigkeit und werden darum von den Seefahrern fleißig beobachtet. Sie rühren im Allgemeinen von den herrſchenden Winden, von der Axendrehung der Erde, von der verſchiedenen Temperatur und Salzigkeit des Meerwaſſers, vom zeitweiligen Schmelzen des Polareiſes, von der ungleichen Ausdünſtung, von Ungleichheiten des Bodens und endlich von der durch einſtrömende Flüſſe mitgetheilten Geſchwindigkeit her. Unter den allgemeinen Strömen ſind der Aequatorialſtrom (von den Holländern Dienung genannt) und der Golphſtrom die wichtigſten. Zufällige Strömungen können überall durch anhaltende Winde und den Wechſel des Waſſerreichthums einmündender Flüſſe erzeugt werden. Stoßen ſtarke Ströme in entgegengeſetzten Richtungen auf einander, ſo entſtehen daraus Wirbel, die manchmal noch durch den Widerſtand des Waſſers an Felſen, auch durch Reflexion deſſelben bedeutend verſtärkt werden, aber den Schiffenden jetzt nicht mehr ſo fürchterlich ſind, als ehemals.

Der Aequatorialſtrom herrſcht zwiſchen den Wendekreiſen, ja ſelbſt bis zum 28. Grad nördlicher Breite, und fließt mit einer mittleren Geſchwindigkeit von 9 — 10 Meilen in 24 Stunden im Allgemeinen von Oſt nach Weſt, aber durch den Widerſtand der Küſten erhält er oft eine andere Richtung. Der Golphſtrom entſteht durch den Aequatorialſtrom im mexicaniſchen Meerbuſen, geht anfangs durch den Canal von Bahama nördlich, hierauf nordöſtlich und dann öſtlich, und wird dabei immer breiter und langſamer. Oeſtlich von Boſton iſt er 80, im Meridian der Azoren gar 160 Seemeilen breit und hat

eine Geſchwindigkeit von einer Meile in der Stunde. In 45„ — 50° nördl. Br. theilt er ſich in zwei Arme, wovon einer ſüdlich geht und unter Madeira wieder zu ſeinem Urſprunge zurückkehrt, der andere aber in nördlicher Richtung gegen die Küſten von Europa zieht, an den norwegiſchen und irländiſchen Küſten gleichſam reflectirt wird, nach Weſt zurückkehrt und mit einem aus dem Eismeere durch die Davisſtraße kommenden Strome vereint gegen die Oſtküſte Grönlands zurückgeht. Man erkennt ſein Daſeyn leicht aus der höheren Temperatur, aus der blauen Farbe ſeines Waſſers und dem häufigen Tange, den er mit ſich führt. Es gibt noch viele andere beſtändige Ströme, aber ſie ſind noch nicht ſo genau unterſucht, wie die vorhergehenden. Ein ſolcher geht vom baltiſchen Meere ins deutſche, vom ſchwarzen Meere in den Bosphorus und ſeitwärts wieder zurück ꝛc. Auch viele periodiſche Strömungen ſind bekannt. Den größten Theil des Jahres hindurch geht das Waſſer um das Cap Horn und Feuerland vom ſtillen in den atlantiſchen Ocean. Im indiſchen und im chineſiſchen Meere gibt es mehrere periodiſche Strömungen. Vom October bis Mai ſtrömt das Waſſer in das rothe Meer und vom Mai bis October fließt es wieder zurück. Im chineſiſchen Meere herrſcht von Mitte Mai bis Mitte Auguſt ein nordöſtlicher und von Mitte Auguſt bis Mitte Mai ein ſüdweſtlicher Strom.

123. Durch den Stoß des Windes entſtehen die Wellen. Bläſt der Wind mit der Oberfläche des ruhigen Waſſers parallel, ſo kann er durch Reibung die Wellenbewegung anfachen, trifft er ſie aber ſchief, ſo wirkt er wie ein in das Waſſer geworfener Körper. Aus S. 278 u. f. iſt klar, nach welchen Geſetzen alles vor ſich geht. Die Höhe und Breite der Wellen richtet ſich nach der Stärke und Richtung des Windes und nach der Aufeinanderfolge ſeiner Stöße, aber auch nach der Tiefe des Waſſers; daher man auch letztere aus dem Wellenſchlage beurtheilen kann. Die mittlere Höhe der Wellen beträgt nicht über 6 Fuß, ſie iſt in der Nordſee größer als in der Oſtſee und im mittelländiſchen Meere; im atlantiſchen Oceane ſind die Wellen vorzüglich lang und breit. Der Wellenſchlag iſt nur in offener See völlig regelmäßig, wenn ihm keine Klippen im Wege ſtehen; an Felſen entſtehen die ſogenannten Brecher (reflectirte Wellen) und an Ufern die Brandungen. (Syſtem einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens von Otto. Berlin 1810.)

Drittes Kapitel.

Feſtes Land.

124. Eben ſo mannigfaltig, wie ſich das feſte Land in Bezug auf ſeine äußeren Umriſſe darſtellt, erſcheint es auch hinſichtlich der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche. Es erhebt ſich in verſchiedener Höhe über das Meer und ſteigt in der Regel deſto mehr auf, je weiter es vom Meere entfernt iſt. Der Verticalabſtand der größten Höhe von der kleinſten iſt nicht genau bekannt. Setzt man die größte Tiefe des Meeres gleich der halben Höhe des höchſten Berges über die Meeres-

fläche, ſo erhält man für jenen Abſtand etwa 6000 Klafter, welches den 573ſten Theil des Erdhalbmeſſers ausmacht. Demnach ſind ſelbſt die größten Erhöhungen gegen die Größe der Erde verſchwindend klein. Erhöhungen der Erdoberfläche heißen nach Maßgabe ihrer Größe Berge oder Hügel; die tieferen Stellen zwiſchen Erhöhungen werden Thäler genannt. Eine Anzahl Berge, welche nach gewiſſen Geſetzen und in beſtimmten Begrenzungen mit einander verbunden ſind, nennt man ein Gebirg. Eine Reihe zuſammenhängender Berge eines Gebirges heißt eine Gebirgskette. Ihre allgemeinſte Form iſt die eines dreiſeitigen Prisma's, das mit einer Seite auf einem horizontalen Boden liegt, wie ein Dach und wovon die obere Kante das Joch, die Seitenflächen die Abfälle und die unteren Theile des Abfalles den Fuß derſelben ausmachen.

Gebirgsketten durchziehen die Oberfläche der Erde nach allen Richtungen. Die Gegenden, wo mehrere Gebirgsketten ſich vereinen, bilden die Knoten des Gebirgsſyſtems, und von da aus werden ſie durch große Thäler von einander getrennt, die man Hauptthäler (Längenthäler) nennt.

125. Die Höhe eines Berges kann in zweifachem Sinne genommen werden. Entweder verſteht man darunter die verticale Entfernung des Gipfels vom Fuße oder den verticalen Abſtand des Gipfels vom Niveau des Meeres. Dieſe Höhe iſt von der erſteren oft ſehr verſchieden, weil der Fuß eines Berges ſelbſt nicht ſelten ſchon auf einer bedeutenden Anhöhe ſteht. Man beſtimmt die Höhe eines Berges entweder durch Nivellirung oder durch trigonometriſches Ausmeſſen oder mittelſt des am Gipfel und am Fuße oder an der Meeresfläche beobachteten Luftdruckes.

Das Höhenmeſſen durch Nivelliren iſt mühſam und oft gar nicht ausführbar, auch gibt es ſelbſt im günſtigſten Falle nur die Erhöhung des Berges über ſeinen Fuß und man müßte, wenn dieſe Methode allgemein angewendet werden ſoll, immer von der Meeresfläche zu meſſen anfangen. Die trigonometriſche Meſſung wird durch die irdiſche Strahlenbrechung, welche die Höhe der Gegenſtände vergrößert, unſicher gemacht, wenn man nicht zugleich die Meſſungen ſo einrichtet, daß daraus zugleich die Größe der Strahlenbrechung erkannt wird; das Höhenmeſſen mittelſt des Luftdruckes iſt am leichteſten ausführbar und kommt auch an Schärfe den vorhergehenden ziemlich nahe, wenn man keine Vorſicht vernachläßiget. Den Luftdruck ſelbſt kann man entweder unmittelbar mittelſt des Barometers beobachten (barometriſches Höhenmeſſen) oder aus der beobachteten Siedhitze des Waſſers berechnen (thermometriſches Höhenmeſſen).

Nach S. 189 wird die Höhendifferenz H zweier Orte, in welchen die Barometerhöhen B und b und die Lufttemperaturen t und t' ſind, ausgedrückt durch $H = C\,(\log B - \log b)\,(1 + \alpha\tau)$, wo man hat: $C = 56386$, wenn man die Höhe in Pariſer Fuß, oder $C = 57945$, wenn man die Höhe in Wiener Fuß und endlich gleich $C = 18336$, wenn

man ſie in Metern ausgedrückt haben will, $\alpha = 0{,}00366$, $\tau = \frac{t + t'}{2}$;
B und b können in beliebigem Maße ausgedrückt werden. Man kann wohl auch noch den Einfluß der Luftfeuchtigkeit, der geographiſchen Breite ꝛc. in Rechnung bringen, doch ſind die hiedurch erhaltenen Correctionen ſo klein, daß man ſie in den meiſten Fällen vernachläßigen kann. Uebrigens wird die Correction wegen der geographiſchen Breite φ gefunden, wenn man den durch die vorhin gegebene Formel gefundenen Werth von H mit 0 002837 $\cos 2\varphi$ multiplicirt. Das Reſultat wird zum Werthe von H mit ſeinem Zeichen addirt.

Will man die Höhe der Queckſilberſäule, welche dem Luftdrucke entſpricht, nicht durch Barometerbeobachtung finden, ſondern aus der Siedhitze des Waſſers ableiten, ſo hat man Folgendes zu bedenken: Bekanntlich haben die aus dem ſiedenden Waſſer aufſteigenden Dämpfe eine Spannkraft, welche dem jedesmaligen Luftdrucke gleich iſt, und beide werden demnach durch dieſelbe Queckſilberſäule gemeſſen; ferner herrſcht zwiſchen der Spannkraft b jener Dämpfe und der Temperatur t der oberen ſiedenden Schichten eine Relation, die ſich durch folgende Gleichung ausdrücken läßt:

$$\log b = \frac{23.945371\, t}{800 + 3t} - 2.2960374,$$

wobei b in Metern angegeben wird. Setzt man in der früheren Formel für b dieſen Werth und $B = 0^m,76$, ſo erhält man

$$H = \left(39914.7 - \frac{43902\, t}{800 + 3t}\right)(1 + \alpha\tau).$$

Die Correctionen wegen den Aenderungen der Schwere in verſchiedenen Breiten laſſen ſich wie bei der barometriſchen Formel anbringen.

Zur leichteren Berechnung geringer Berghöhen dient folgende Tafel: B bezeichnet den auf 0° C. reducirten Barometerſtand, H die Höhe, D die Differenz zweier auf einander folgender Höhen. Alles bezieht ſich auf Wiener Maß.

B.	H.	D.	B.	H.	D.
301 L.	84 F	8.3	311 L.	907 F.	8.1
302	168	8.3	312	988	8.0
303	250	8.3	313	1068	8.1
304	333	8.3	314	1149	8.0
305	416	8.3	315	1229	8.0
306	499	8.3	316	1309	7.9
307	581	8.2	317	1388	8.0
308	663	8.2	318	1468	7.9
309	745	8.1	319	1547	7.9
310	826	8.1	320	1626	7.8

B.	H.	D.	B.	H.	D
321 L.	1704 F.	7.9	331 L	2477 F.	7.6
322	1738	7.7	332	2553	7.5
323	1860	7.8	333	2628	7.6
324	1938	7.8	334	2704	7.5
325	2016	7.7	335	2779	7.6
326	2093	7.8	336	2855	7.5
327	2171	7.6	337	2930	7.4
328	2247	7.7	338	3004	7.4
329	2324	7.6	339	3078	7.4
330	2400	7.7	340	3152	7.4

Beim Gebrauche nimmt man aus der Columne II die Zahl, welche den Barometerſtand B in der erſten Station nach Hinweglaſſung der Bruchtheile einer Linie bezeichnet, hierauf multiplicirt man die weggelaſſenen Zehntellinien mit der Zahl aus der Columne D, welche dem Barometerſtande entſpricht, und addirt dieſes Product zu erſterer Zahl. Thut man daſſelbe für den Barometerſtand der zweiten Station; ſo erhält man durch die Differenz der zwei ſo gefundenen Zahlen die verlangte Höhe = A. Um dieſe für die Luftwärme in beiden Stationen zu corrigiren, multiplicirt man den tauſendſten Theil der gefundenen Höhe mit der doppelten Summe der Temperaturen beider Stationen, und gibt das Product mit ſeinem Zeichen zu A. Z. B. aus 24 gleichzeitigen, im botaniſchen Garten in Wien und am Leopoldsberge bei Wien angeſtellten Beobachtungen ergab ſich die auf 0° C. reducirte Barometerhöhe in Wien = 339.1 L. und die am Leopoldsberge = 330.5.

Der Zahl 339 entſprechen in der Tabelle	3078
0.1	7
mithin 339.1	3085
Eben ſo entſprechen der Zahl 330 in der Tabelle	2409
0.5	38
mithin 330.5	2438
und daher der Höhenunterſchied 3085 — 2438 =	647

Die Temperatur in Wien war 14°.40, die am Kahlenberge 14°.42, mithin die doppelte Summe 57.64 und 57.64 × 0.647 = 37.4, und daher die geſuchte Höhe 647 + 37 = 684 F.

Siehe hierüber: Die Hypſometrie mittelſt phyſiſcher Beobachtungen von A. Suppan. Innsbruck 1834. Das Höhenmeſſen mit dem Thermometer von J. W. Gintl. Wien 1835.

126. Das Joch einer Gebirgskette iſt ſelten ſo ſchmal, als die vorhin gemachte Vergleichung mit der Kante eines dreiſeitigen Prisma's anzuzeigen ſcheint. Es gibt wohl, beſonders in Deutſchland, einige Puncte, wo das Joch nicht die Breite eines Hauſes hat, wie z. B. am Brenner in Tirol, wo das Dachwaſſer eines Hauſes von einer Seite dem adriatiſchen, von der andern dem ſchwarzen Meere zufließt, oder im Dorfe Siechingen im Würtembergiſchen, wo von einem Hauſe das Regenwaſſer zum Theil in den Neckar und mit-

hin in die Nordſee, zum Theil in die Donau und dadurch ins ſchwarze Meer ſich ergießt. In den franzöſiſchen Gebirgen beträgt die Breite kaum eine Meile, in Norwegen bei Langfiels 8 — 12 Meilen, in Amerika gar 50 Meilen. Man heißt dieſe Gegenden **Landhöhen** oder **Landrücken**.

Die berühmteſten **Landhöhen** befinden ſich in Amerika, nämlich die von Titicaca und Antiſana (2050 — 2155 W. Kl. hoch), von Quito und Caxumarca (1530 Kl.), von Bogota (1407 Kl) und Mexico (1190 Kl) Aſien hat, ſo weit man es kennt, nur zwiſchen den Gebirgsketten des Himalaya und Kuenlun Landhöhen, die ſich den amerikaniſchen zur Seite ſtellen laſſen. Die perſiſche Landhöhe hat nur 667 W. K. Afrika iſt uns zu wenig bekannt, als daß man die Landhöhen genau anzugeben im Stande wäre. Das Hochland Abeſſinien iſt wohl unter allen das bekannteſte, und auch nach allen Nachrichten ſo hoch, daß es dem Hochlande Quito noch am erſten an die Seite geſtellt werden dürfte. Europa hat kein Hochland aufzuweiſen, welches ſich mit denen der übrigen Welttheile meſſen könnte. Das ſchwäbiſche Hochland hat nur 450 Kl. Höhe, das Plateau zwiſchen den Alpen und dem Jura 267 — 277 K., und das in Spanien 359 Kl. Höhe. Selbſt das Hoſpiz auf dem großen Bernhard, der höchſte bewohnte Ort Europa's und noch dazu keine Gebirgsebene, liegt tiefer als die benannten Landhöhen der anderen Welttheile.

127. Selten behält ein Joch eine lange Strecke hindurch dieſelbe **Richtung**, ſondern es wendet und biegt ſich nach verſchiedenen Gegenden. Von der Richtung der Gebirgsrücken hängt die Geſtalt eines Landes ab.

In Amerika läuft ein mächtiges Gebirge von Süd nach Nord und das Land hat auch in dieſer Richtung die größte Ausdehnung; in Nordamerika läuft ein Gebirge von Nord nach Süd längs der Weſtküſte und ein anderes an der Oſtküſte von Nordoſt nach Südweſt, und eben davon hängt die dreieckige Geſtalt des Landes ab. Dasſelbe findet in Südamerika Statt, wo nebſt dem von Nord nach Süd laufenden Gebirge auch noch eine Gebirgskette von Nordoſt nach Südweſt hinzieht. In Aſien ziehen die größten Gebirge von Oſt nach Weſt durch das Land und dieſer Welttheil iſt auch in dieſer Richtung am ausgedehnteſten; Indien erhält ſeine dreieckige Geſtalt wie Nord- und Südamerika durch beſondere Bergketten; Afrika erhält ſeine Geſtalt durch Gebirgsketten, die in der Nähe des Meeres hinlaufen; in Europa erſtrecken ſich die größten Gebirge von Nordoſt nach Südweſt, und in dieſer Richtung iſt dieſer Welttheil auch am ausgedehnteſten.

128. Die **Höhe** des Joches iſt in derſelben Gebirgskette verſchieden. Iſt die Kette ſelbſtſtändig und von allen Seiten mit Ebenen umgeben, ſo liegt ihre größte Höhe in der Mitte; iſt ſie aber nur ein auslaufender Zweig eines größeren Gebirgsſtammes, ſo hat ſie in dem Theile die größte Höhe, welcher dem Centrum am nächſten iſt. Beträchtliche und ſchnelle Abfälle eines Gebirgsjoches bilden **Päſſe**, welche als Vereinigungspuncte zweier getrennten Länder angeſehen werden können, und ihrer, in Bezug auf die benachbarten Theile des Gebirges, niederen Lage ungeachtet, oft eine bedeutende abſolute Höhe haben. Auf dieſe Weiſe verbinden die Päſſe über den Brenner und St. Gott-

hard das weſtliche Deutſchland mit Italien, der Paß des Puymorin Frankreich mit Spanien u. d. m Oft werden Gebirgszüge von Flüſſen durchbrochen, wie dieſes z. B. die Elbe bei Königſtein, der Rhein zwiſchen Mainz und Köln thut. Daher folgt auch die Waſſerſcheide nicht den Gebirgszügen.

129. Der Abfall einer ganzen Gebirgskette beſteht aus einer großen Anzahl beſonderer Abfälle, die man erſteigen muß, um den Gipfel oder das Joch zu erreichen. Die mittlere, aus allen dieſen zuſammengeſetzte Neigung der Seitenflächen wechſelt bei gewöhnlichen Gebirgsketten von 2° — 6°, der ſüdliche Abfall der Alpen von den höchſten Puncten an beträgt nur 3¾°. Allein es ſcheint eine allgemeine Regel zu ſeyn, daß die beiden Abhänge einer Gebirgskette ungleich ſind und daß immer einer kürzer und ſteiler als der andere iſt. Man kann es als Regel anſehen, daß die Gebirge immer dort den ſteilſten Abhang haben, wo ſie ein Becken einſchließen, es mag dieſes nun feſtes Land ſeyn oder Waſſer enthalten. Die Gebirgsketten haben häufig an den Abhängen ſenkrecht auf ihrer Länge tiefe Einſchnitte, welche Thäler bilden, die von den vorhin genannten, von ganzen Gebirgsketten gebildeten unterſchieden werden müſſen und eigentlich nur große, bis zum Fuß der Kette herabſteigende Rinnen formiren. Dieſe Thäler theilen die Kette in kleinere, untergeordnete Arme und Zweige, von denen alles das gilt, was von der Hauptkette geſagt wurde. Ihr Joch fällt nicht gleichförmig ab, ſondern hält ſich oft lange in einer bedeutenden Höhe und ſenkt ſich dann plötzlich; ſie laufen oft über den Fuß der Hauptkette hinaus. Erſtrecken ſie ſich bis zum Meere und endigen ſich da ſchnell, ſo nennt man ſie ein **Cap** oder **Vorgebirge**.

130. Den Gebirgsgegenden ſtehen die ſogenannten **Wüſten** ſowohl in Hinſicht ihrer phyſiſchen Beſchaffenheit, als auch durch die Rolle, welche ſie in der Geſchichte der Erde ſpielen, gerade gegenüber. Wenn jene dem Auge eine unendliche Mannigfaltigkeit darbieten, ſo ermüden es dieſe durch eine eben ſo große Einförmigkeit. So wie jene die Geburtsſtätte der Quellen und Flüſſe ſind, die gewürzreichſten und kräftigſten Pflanzen nähren, unzähligen Thieren zum Aufenthalte dienen und von ihren höheren Puncten das herrlichſte Panorama darſtellen; ſo ſind dieſe waſſerarm und trocken, von aller Vegetation entblößt, meiſtens nur mit Sand und kleinen Steinen bedeckt und gewähren dem Wanderer das ſchauerliche Bild einer todten Welt. Wiewohl die Wüſten in der Regel allenthalben, wo ſie vorkommen, denſelben Grundcharakter einer großen, der Vegetation im Allgemeinen ungünſtigen Ebene behalten: ſo werden ſie doch im Einzelnen durch die Beſchaffenheit des Bodens, durch das Klima und ihre Höhe über die Meeresfläche näher beſtimmt.

Die Wüſten von Aſien und Afrika ſind eigentliche Sandmeere und beſtehen aus unermeßlichen Strecken, die mit Flugſand oder mit großen Kieſelſtücken überſäet ſind; ſie laſſen ſich vom Cap Bojador an bis jenſeits des Indus in einer Strecke von 1400 geogr. Meilen verfol-

gen. Die größte iſt die Sahara, die wie ein ausgetrockneter Meeresarm ganz Afrika zwiſchen dem 15ten und 31ſten° nördl. Br. durchſetzt und 65000 Q. Meilen faßt. In ihr ſpricht ſich der Charakter einer Sandwüſte am ſchrecklichſten aus. Sie bietet dem Auge nichts als eine unermeßliche, durch keinen Hügel unterbrochene Ebene dar, nichts als brennender Sand, mit dem die Winde ihr verderbliches Spiel treiben, bedeckt den pflanzenleeren Boden, keine Quelle findet ſich daſelbſt, und nur ſelten ſtoßt man auf künſtliche, in den Sand gegrabene Brunnen, zu welchen dem Wanderer die in Sand geſteckten Knochen von umgekommenen Thieren den Weg zeigen, die häufig wieder verſchüttet oder von Inſectenſchwärmen erfüllt ſind. Die Luft iſt wolkenlos, heiß, röthlich trübe, mit dem feinſten Sande überladen, von keinem Regen erfriſcht und von keinem Vogel beſucht. Nur wenige Orte dieſes grauenvollen Meeres ragen, wie Inſeln mit ihrer üppigen Vegetation aus dem Sande hervor; ſie werden Oaſen genannt. Eine andere große Wüſte Afrika's iſt die Lybiſche, welche vom Nilthale begrenzt wird. Jenſeits der Landenge von Suez fängt die Wüſte Nedsjed an, die das ganze Innere von Arabien ausfüllt. Der Euphrat iſt die öſtliche Grenze der arabiſchen und ſyriſchen Wüſte. Perſien wird vom caſpiſchen Meere an bis zum indiſchen von ungeheuren Sandmeeren durchſchnitten, unter denen die an Salz reichen Wüſten von Adjemin, Kerman und Mekan die hauptſächlichſten ſind. Nach Humboldt beträgt der Erdſtrich, den dieſe Sandwüſten einnehmen, die Oaſen abgerechnet, gegen 112.000 geogr. Quadratmeilen.

131. Die Urſachen der Abweſenheit aller Vegetation in den bisher genannten Wüſten iſt der Mangel an Waſſer, der durch das Klima und die Lage hervorgebracht iſt und die Armuth an Vegetation ſelbſt wieder bedingt. Dieſes zeigen die Oaſen dieſer Wüſten und der Umſtand, daß ſelbſt dort, wo das Klima kälter iſt, aber wegen der Höhe über der Meeresfläche und der Beſchaffenheit des Bodens alles Waſſer abfließt, die Gegend das traurige Bild einer Sandwüſte darſtellt. Der Einfluß des Waſſers zeigt ſich vorzüglich an den ſogenannten Llanos in Amerika, an der Wüſte Karao in Südafrika und an vielen Gegenden, die bei einem anderen Klima gewiß Sandwüſten wären, nun aber in die Reihe der ſogenannten Steppen gerechnet werden dürfen.

Die Karao hat ungefähr 1000 geogr. Quadratmeilen, liegt zwiſchen hohen Bergen und iſt ſelbſt von nicht unbedeutenden Thonſchiefergebirgen durchzogen, ſtellt aber doch auch Ebenen von 30 — 40 Quadratmeilen dar. Ihr Boden beſteht auch aus Thon und Sand. Dieſer wird während des Sommers ſo ausgetrocknet, daß er mächtige Sprünge bekommt, an vielen Stellen ganz ausgedörrt iſt und die Vegetation verliert, während er an anderen, waſſerreichen mit dem ſchönſten Pflanzenſchmucke prangt. Sobald aber die kühlere Jahreszeit Regen bringt, ſo erwachen die in der Erde vergrabenen Wurzeln und Samen, und bald lockt die üppige Vegetation die Bewohner der nahen Gebirge mit ihren Heerden herbei. Ein ähnliches Schauſpiel bieten die Llanos in Amerika dar. Sie liegen, wie die Sahara, im heißen Erdſtriche, beſitzen aber ein mehr feuchtes Klima und erſcheinen daher in jeder Jahreshälfte in einer andern Geſtalt. Wenn im Sommer unter dem verſengenden Strahle der Sonne die Pflanzendecke abge-

brannt und der Boden ausgetrocknet iſt und ſelbſt der ſonſt kühlende Oſtwind neue Hitze bringt; ſo wetteifern ſie an Unfruchtbarkeit mit Sahara; ſobald aber die Regenzeit eintritt, überzieht ſich der ganze Boden mit den mannigfaltigſten Gräſern.

132. Die **Steppen** gleichen durch ihren Mangel an abwechſelnden Vertiefungen und Erhöhungen den Wüſten, unterſcheiden ſich aber von ihnen dadurch, daß ſie den Sommer hindurch mit Pflanzen beſetzt ſind, worunter viele Salzpflanzen vorkommen, die wenigſtens den Schein einer Wüſte tilgen.

Solcher Steppen gibt es beſonders in Aſien viele. Sie erſtrecken ſich von der chineſiſchen Mauer bis zum Aral-See, faſt ununterbrochen 1000 geographiſche Meilen weit. Dazu kommen noch die nördlich von Aſtrachan liegenden und diejenigen, welche ſich zwiſchen der Wolga, dem Don und Dnieper bis zur ſogenannten beſſarabiſchen Wüſte hinziehen. — Eine der größten Steppen der Erde befindet ſich in Amerika. Sie zieht von der Küſtengebirgskette von Caraccas bis zu den Wäldern von Guyana und beträgt nach **Humboldt** 14000 Quadratmeilen.

133. Man muß in jedem Welttheile mehrere Gebirgsſyſteme annehmen, die von einander nicht bloß durch Thäler und Ebenen getrennt ſind, ſondern ſich in ihrer äußeren Form und inneren Structur von einander unterſcheiden

Aſien hat mehrere merkwürdige Bergſyſteme: Das Bergſyſtem des Urals oder das Pojaſſowoi-Pawdinskoi-Gebirge, des Caucaſus, des Taurus und Antitaurus, des Altai, Tiankhan, Kuenlun und des Himmelsgebirges (Himalaya) ꝛc. Das Uralgebirge fängt nicht weit vom caſpiſchen Meere unter 45° nördl. Br. an, und geht von Südoſt nach Nordweſt bis ins Eismeer fort; die caucaſiſchen Gebirge ziehen von SO. nach NW. 95 Meilen lang zwiſchen dem caſpiſchen und ſchwarzen Meere fort und erreichen mit dem Berge Caucaſus die größte Höhe, nämlich 2839 W Kl. Die mittlere Höhe, der Kamm dieſer Kette, beläuft ſich auf 1387 Kl. Das Syſtem des Altai im weiteren Sinne erſtreckt ſich von Oſt nach Weſt zwiſchen den Parallelen von 50 — 50° nördl. Br., 160 Meilen tief in die Kirgiſenſteppe, ohne bedeutende Höhen zu erreichen. Das Bergſyſtem **Thiankhan**, von **Pallas** Bokhdo genannt, iſt vom Altai gegen Oſten durch eine hohe, von SSW. nach NNO. laufende Bergrippe, **Khingkhan-Oola**, getrennt, liegt in einer mittleren Breite von 42°, erreicht im Bokhda-Oola (heiligen Berge) ſeine größte Höhe, zieht öſtlich nach Barkoul, verflacht ſich da in die große Wüſte **Cobi** und erſtreckt ſich nördlich von Kaſchgar gegen Samarkand. Das Bergſyſtem des **Kuenlun** oder **Kulkun** beginnt im Weſten mit dem blauen oder Zwiebelgebirge (Thſungling) und zieht ſich gegen Oſten nach den Quellen des Hoangho hin. Das Syſtem des Himalaya trennt Kaſchmir, Nepal und Butan von Thibet und ſteigt im Dhawalagiri bis zu 4513 W. Kl. an, zieht größtentheils von NW. gegen SO. und iſt mit dem Kuelun durch Nebenketten verbunden. Die Gebirgsſyſteme **Afrika's** ſind nur wenig bekannt. Unter 10° nördl. Br. läuft ein Gebirge, die **Mondberge** genannt, hin, ein anderes am Vorgebirge der guten Hoffnung, und endlich an der Nordweſtküſte der Atlas mit ſeinen Ausläufern. Eben ſo wenig kennen wir die Gebirgsſyſteme Auſtraliens. Die **europäiſchen** Gebirgsſyſteme ſind aus einleuchtenden Grün-

den am beſten bekannt. Das Hauptgebirge Europa's ſind die *Alpen* (weißen Berge). Sie ſind von allen Seiten ſcharf begrenzt, dehnen ſich von 23° — 35° der Länge und von 44° — 48° nördl. Br. aus, und haben ihre Hauptrichtung von WSW. nach ONO. Ihre größte Höhe beläuft ſich auf 2523 Kl., die mittlere Höhe der Kämme auf 1208 Kl. und ihre Päſſe auf 1231 Kl. Der Hauptgebirgsſtock iſt der St. Gotthard mit einer Höhe von 1468 Kl. Ein anderes und zwar dem Range nach das zweite Gebirgsſyſtem bilden die *Pyrenäen*, die Frankreich von Spanien ſcheiden, und im Mont Marboré (1795 Kl.), Mont Calm (1833 Kl.), Pic de Cascade (1725 Kl.), Pic de Poſets (1810 Kl.) ihre größten Höhen erreichen. Merkwürdig iſt an dieſem Gebirge, daß die niederen Nebenketten mit der Hauptkette völlig parallel laufen, aber auf der Hauptrichtung der Alpen ſenkrecht ſtehen. Das dritte europäiſche Hauptgebirge ſind die *ſcandinaviſchen* oder die *Kiölen* zwiſchen Norwegen und Schweden. Sie laufen nur mit wenigen Krümmungen von Süd nach Nord bis an die Spitze des Nordcaps und erreichen im Sule Tind eine Höhe von 920 Kl. Die *Karpathen* zwiſchen Ungarn und Galizien ziehen von Nordweſt nach Südoſt, und haben im großen Krywan (1300 Kl.), der Käsmarker- (1630 Kl.) und Lomnitzerſpitze (1700 Kl.) die höchſte Elevation. Die Apenninen, Cevenen, Vogeſen, das Juragebirge, die Sudeten, das Fichtel- und Erzgebirge ꝛc. ſind Gebirge von minderer Bedeutung. *Amerika* hat bedeutende Gebirgsſyſteme. Das vorzüglichſte, ja dasjenige, wovon vielleicht alle anderen bloße Verzweigungen ſind, ſind die *Cordilleras de los Andes* (Kupfergebirge), die Amerika von Nord nach Süd in einer Länge von 2500 Meilen und einer Breite von 18 — 20 Meilen durchziehen. Sie bilden die Hochebene von Mexico mit mehreren bedeutenden Höhenpuncten, theilen ſich in Südamerika in parallel laufende Aeſte, und erreichen daſelbſt mit dem Chimboraſſo die größte Höhe (3445 Kl.). In Nordamerika theilen ſie ſich in viele Aeſte, wovon ſich der längſte bis zum Cap Wallis erſtreckt und ſich an die von Aſien überſetzenden Gebirgszüge anſchließt.

134. Alles Bisherige bezieht ſich auf die äußere Geſtalt des feſten Landes. Daß aber das Innere der Erde viel Merkwürdiges darbieten müſſe, iſt für ſich klar. Leider kennen wir aber nur einen ſo kleinen Theil des Ganzen, daß jeder Schluß von dieſem auf das Uebrige ſehr gewagt erſcheinen muß. Der tiefſte Schacht der Erde (zu Kitzbühl in Tirol) geht nur auf 3000 F. unter, er befindet ſich aber in einem hoch gelegenen Lande und ſein Grund ſteht ſogar noch über der Meeresfläche. Die Kohlengruben in England gehen zwar unter das Niveau des Meeres und die zu Anzin bei Valenciennes ſogar 1100 F. unter die Meeresfläche; das iſt aber auch die größte Tiefe, die man erreicht hat. Rechnet man dazu die Wichtigkeit der größten (in Thibet) verticalen Höhe, die von 24000 F., ſo hat man für die Mächtigkeit der uns zugängigen Formationsfolge 24000 + 1100 = 25100 F. welches noch nicht $^1/_{800}$ des Erdhalbmeſſers ausmacht, alſo nicht einmal ſo viel als die Papierdicke eines Globus von 1 Fuß Durchmeſſer. So weit unſere Kenntniß des Inneren der Erde reicht, beſteht ſie hauptſächlich aus Verbindungen von Eiſen, Kalk-, Thon- und Kieſelerde. Ob im Inneren der Erde nicht Subſtanzen vorkommen, die unſeren chemiſchen Laboratorien noch unbekannt ſind, wiſſen

wir nicht. Beſteht aber der Kern der Erde aus den uns ſchon bekannten Stoffen, ſo muß er flüſſig ſeyn. Denn die Erfahrung lehrt, daß die Temperatur der Erde deſto größer ſey, je tiefer man kommt und daß die Temperatur mit je 80 F. Tiefe um 1° R. zunehme. In der Tiefe von etwa $1/_2$ Meile muß ſchon eine Temperatur von 100° C. und in der Tiefe von etwa 4 Meilen ſo große Hitze herrſchen, daß Silicate nur geſchmolzen beſtehen können. Es iſt daher erlaubt anzunehmen, daß der Erdkörper nur mit einer feſten Rinde überzogen, im Inneren aber flüſſig ſey. Bedenkt man, daß die feſte Schale gegen den flüſſigen Kern nur ſo dick ſeyn könne, wie verhältnißmäßig die äußere Haut eines Apfels von 3 Zoll Durchmeſſer gegen das Innere deſſelben; ſo begreift man leicht, welch' mächtigen Einfluß Aenderungen in der Temperatur und den chemiſchen Verhältniſſen des Erdkernes auf den feſten Ueberzug ausüben können. (Cordier in Schweig. J. 52. 365. Ann. de Chim. 13. 283.)

Viertes Kapitel.

Veränderungen der Erde.

135. Schon eine oberflächliche Beobachtung zeigt, daß die Erde ohne Unterlaß verändert werde und daß dieſes in früherer Zeit nicht minder der Fall war. Luft und Waſſer arbeiten beſtändig an der Umſtaltung ihrer Oberfläche, Pflanzen und Thiere thun dasſelbe, und mächtige, im Inneren der Erde waltende Kräfte führen oft Kataſtrophen herbei, die in wenigen Stunden ganzen Ländern ein verändertes Ausſehen geben. Die unzähligen Ueberbleibſel organiſcher Körper, die Niederlagen verſchütteter Wälder, abgelagerte Trümmer ehemaliger Gebirge, die Spuren verloſchener Vulkane, die Geſtalt der Thäler, die Formen der Berge, die Beſchaffenheit der Seeküſten ꝛc. ꝛc. ſind deutliche Beweiſe, daß die an der Umſtaltung der Erde arbeitenden Kräfte in früherer Zeit nicht minder thätig waren, als ſie es gegenwärtig ſind.

136. Die Luft wirkt durch ihren Gehalt an Sauerſtoff, Kohlenſäure und Waſſerdampf dahin, daß Körper an Farbe und Conſiſtenz ſich ändern und feſte Maſſen ihren Zuſammenhang verlieren oder wie man zu ſagen pflegt verwittern. Selten ſieht man einen Fels, der an der Oberfläche eben ſo ausſieht, wie im Inneren, ja ſelbſt an den ſorgfältig bewahrten Handſtücken unſerer Mineralienſammlungen bemerkt man dasſelbe. Polirte Flächen werden mit der Zeit rauh, der im Inneren ſchwarze Alpenkalk bekommt in Folge des Verluſtes an Kohlenſtoff eine braune Oberfläche, feſte Schollen zerfallen zu Staub, eckige Körper werden abgerundet. Senkrechte Felswände, die aus heterogenen über einander gelagerten Schichten beſtehen, bekommen ein zähniges Ausſehen, weil einige Schichten der Verwitterung mehr unterliegen als andere, und oft verwandeln ſich in Folge der

fortdauernden Verwitterung ſolche Schichten in abgerundete laibförmige Körper, die nur mit ſehr geringer Stabilität auf einander ruhen. Daß oft Muſcheln, Geröllſtücke aus Sandſtein weit hervorragen, hat einen ähnlichen Grund.

Die Bewegung verleiht der Luft eine beſondere Wirkſamkeit. Sie führt nämlich die verwitterten Theile hinweg und legt dadurch die feſten Stellen blos, damit ſie um ſo ſchneller ein gleiches Los erfahren. An den flachen Seeküſten ſetzt die bewegte Luft die Strandbildung durch den mitgeführten Sand fort und bildet die ſogenannten Dünen. In den afrikaniſchen und arabiſchen Wüſten wird der Sand in der Richtung des herrſchenden Windes fortwährend angehäuft und die Wüſte ſelbſt ſchreitet in dieſer Richtung fort.

137. Noch mächtiger als die Luft wirket das Waſſer, und zwar ſowohl durch ſeine auflöſende Kraft als durch mechaniſche Action. Lösliche Salze werden vom Waſſer aufgenommen und beim Verdunſten deſſelben wieder abgeſetzt. Die ausgebreiteten Salzlager ſo wie die Mineralquellen verdanken ohne Zweifel dieſem Umſtande ihr Entſtehen. Bei letzteren wirkt vorzüglich der Kohlenſäuregehalt des Waſſers mit, der es befähiget, Subſtanzen aufzunehmen, die ſonſt unlöslich wären, wie z. B. Eiſenoxyd, Kalkerde. Von letzterer rühren die in Kalkhöhlen vorfindigen Stalactiten her. Mit Hülfe einer höheren oder niederern Temperatur bewirkt das Waſſer ganz eigene Erſcheinungen. Fällt es als Schnee aus der Atmoſphäre herab, ſo häuft es ſich beſonders in hohen Gebirgen zu ungeheuren Maſſen an, gewinnt durch Kälte und Druck einen mehr oder weniger ſtarken Zuſammenhang und bildet daſelbſt die Gletſcher. Dieſe ſchmelzen zwar in der beſſern Jahrszeit am Fuße fortwährend ab und geben ſomit vielen Flüſſen den Urſprung, aber ſie rücken entweder in Folge der Schwere oder des Temperaturwechſels langſam auf ihrer Unterlage vorwärts und reißen mit ſich fort, was ihnen in den Weg kommt. Wo der in Maſſen geſammelte Schnee nicht zu ewigem Eiſe ſich ſammelt, ſtürzt er in ſogenannten Lawinen von Anhöhen herab und richtet die größten Verwüſtungen an. Dringt das Waſſer in Spalten und Ritzen der Felſen ein und gefriert darin, ſo zerſprengt es oft das feſteſte Geſtein und erweitert ſchon vorhandene Spalten.

Beſonders mächtig erſcheint die Kraft des bewegten Waſſers. Daß ſchon Regentropfen durch häufigen Fall Steine aushöhlen, iſt ſprichwörtlich geworden. Die Meereswellen zerſtören nach und nach feſte Felſenwände. Flüſſe nagen fortwährend an ihren Ufern und erhalten dadurch nicht ſelten einen ganz veränderten Lauf. Selbſt die ſo langſam (täglich 9 — 12 Zoll) fortrückenden Gletſcher reiben bei ihrem ungeheuern Gewichte feſtes Geſtein ab, daher das Gletſcherwaſſer meiſtens trüb iſt. So lange das Waſſer eine hinreichend große Geſchwindigkeit hat, reißt es Schlamm, abgeriebenes Geſtein, feinen Sand mit ſich fort, ja ſelbſt bedeutendere Steine werden fortgerollt, dabei fortwährend abgerundet und endlich ſelbſt in Sand verwandelt. So wie aber die Geſchwindigkeit kleiner wird, ſetzt ſich ein Theil zu

Boden. Auf ſolche Weiſe verſchlämmen oft Flüſſe ihr Bett und zwingen ſich ſelbſt, einen anderen Lauf zu nehmen oder doch ſich weiter auszubreiten. Fallen, wie es oft geſchieht, Felstrümmer auf Gletſcher oder Eisfelder, ſo werden ſie mit dem Eiſe fortgeführt und können ſo in Gegenden kommen, wo ſie als Fremdlinge erſcheinen. So rühren die einzelnen Felstrümmer in Norddeutſchland, Polen, Rußland ꝛc., die man Findlinge oder erratiſche Felſen nennt, von den Gebirgen von Finnland und der ſcandinaviſchen Halbinſel her. L. Fox ſah auf einer Reiſe nach der Hudſonsbay auf einem Eisberge einen Fels liegen, den er auf 120 Zentner ſchätzte und d'Urville bemerkte im ſüdlichen Polarmeere einen großen Felsblock in einer ſchwimmenden Eismaſſe eingeſchloſſen.

Die Auswaſchungen und Aushöhlungen, welche das Waſſer im Inneren der Erde bewirkt, das öftere Untergraben der Ufer ꝛc. haben Thalbildungen und nicht ſelten Erdſtürze und Abgleitungen ganzer Erdmaſſen zur Folge. Am Karſt ſind die trichterförmigen Vertiefungen, welche den einzigen Zufluchtsort der Vegetation abgeben, durch Einſtürze im Inneren der Erde entſtanden, eben ſo in Dalmatien, Griechenland, an der Küſte des ſchwarzen Meeres. Viele Inſeln werden durch Eroſion des Meeres immer kleiner, wie z. B. Helgoland; von Boulogne bis an die Spitze von Jütland rückt fortwährend das Meer vor in Folge der Uferzerſtörung; der Niagarafall iſt in 40 Jahren um 150 Fuß zurückgewichen, weil die Kalkwand, über welche das Waſſer ſtürzt, fortwährend zerſtört wird; der Simeto hat ſich am Aetna in ſehr feſter Lava ein gegen 50 F. tiefes Bett gegraben. Die Donau wechſelt nach jedem Hochwaſſer ihren Stromſtrich und fortwährend werden Inſeln gebildet und andere zerſtört. Im Jahre 1585 verſank das Dorf Mottingham bei Kent; 1618 ſtürzte eine Felſenwand des Corto auf den Flecken Plürs und das Dorf Scilano; 1806 wurden durch einen Bergſturz des Roßberges mehrere Ortſchaften mit Schutt bedeckt; 1820 glitt das Dorf Stran in Böhmen an der Eger, welches auf einer, 1 Kl. hohen Lettenſchichte am Abhange eines Berges erbaut war, in die Eger hinab. Auch der beim Dorfe Barbis am Harze im J. 1825 Statt gehabte Erdfall ſcheint von der Untergrabung des Bodens durch Waſſer herzurühren. Wie ſehr die heißen Quellen das Innere der Erde zu verändern vermögen, iſt ſchon daraus erſichtlich, daß nach Hoff die Quellen von Karlsbad allein in einem Jahre 23 Millionen Pfund feſter Beſtandtheile an das Tageslicht bringen. Dieſes gibt für ſich ſchon einen kubiſchen Körper von 53 F. Seite.

138. Die organiſchen Weſen ſind nicht weniger thätig, die Geſtalt der Erdoberfläche zu verändern. Abgeſehen von den Wirkungen, die der Menſch fortwährend in dieſer Beziehung hervorbringt, der Schachte eröffnet und die Eingeweide der Erde unterſucht, Kanäle gräbt und Flußbette regulirt, Berge abträgt und Dämme aufführt, Waldungen lichtet und Gärten anlegt, und durch Pflug und Spaten die Erde auflockert, um ihre Verwitterung zu beſchleunigen, abgeſehen von allem dieſen, ſo ſind ſchon die Thiere der unterſten Organiſation und die Pflanzenwelt hinreichend, um die auffallendſten Veränderungen, wenn auch erſt in längerer Zeit hervorzubringen. Schon früher (114) wurde erwähnt, daß die Korallenthiere durch ihre kalki-

gen Abſonderungen den Meeresboden erhöhen und meilenlange Riffe erzeugen; noch größeren Einfluß üben mikroſkopiſche Thiere auf die Vergrößerung der feſten Erdrinde aus. Der Kalkſand der Meeresufer beſteht oft größtentheils aus Schalen kleiner Thiere, deren oft mehr als eine Million auf einen Kubikzoll gehen. In Moorgegenden hält jeder Teich und jeder Waſſergraben, ja ſchon feuchte Erde eine zahlloſe Menge von Infuſorien mit einem Panzer aus Kieſelerde. Dieſe Thiere vermehren ſich ſo ſchnell, daß, gemachten Beobachtungen zu Folge, ein Individuum in einem Tage zu einer Anzahl von vielen Millionen anwachſen kann. (Von der Hydatina senta wurde eine Vermehrung eines Individuums auf 4 Millionen innerhalb 11 Tagen, von einer Vorticella die eines Individuums auf 16 Millionen in einem Tage wirklich beobachtet.) Ungeachtet auf einen Kubikzoll viele Millionen von Thieren dieſer Art gehen (von der Gallionella distans 41000 Millionen), ſo bildet ſich doch ein Kubikfuß ſolcher Organismen ſchon in 2 Tagen. Jedes dieſer Thierchen läßt aber nach dem Abſterben den Kieſelpanzer zurück und es iſt daher kein Wunder, daß man in manchen Gegenden die moorige Dammerde größtentheils aus ſolchen Panzern gebildet findet. Die Lager von Bergmehl, Kieſelguhr, Tripel, Polirſchiefer ſind größtentheils, oft ſogar ausſchließlich aus derlei Infuſorienreſten gebildet.

Die 6 — 8 Zoll mächtige Schicht von Kieſelguhr bei Franzensbad in Böhmen beſteht vorherrſchend aus Schalen der Navicula; das Polierſchieferlager zu Bilin in Böhmen enthält größtentheils Panzer von Gallionella distans; die Dammerde im Thiergarten zu Berlin beſteht zu 2/3 aus Infuſorienſchalen, der Sand der lybiſchen Wüſte iſt größtentheils aus Polythalamien gebildet. Eiſenhältige Kieſelpanzer ſind in Moorgegenden oft ſo verbreitet, daß ſie hinreichen, um in Hochöfen zu Eiſen verſchmolzen zu werden.

139. Pflanzen laſſen nach ihrer Vermoderung jene ſchwarze erdartige Maſſe zurück, die man Dammerde nennt und die aus den in Pflanzenkörpern enthaltenen Salzen und aus Kohlenſtoff, wenig Waſſer- und Sauerſtoff beſteht. In Gegenden, wo alljährig Waſſer einige Zeit ſtagnirt, verfaulen die Wurzeln der dort wachſenden Pflanzen unter der Raſendecke und bilden ſo den Torf, der, wenn er nicht ausgeſtochen wird, ſich allmälig zu einem (bis 40 Fuß) mächtigen Lager zwiſchen der Raſendecke und dem thonigen Sandgrund anhäuft. Selbſt größere Pflanzenkörper, ſogar ganze Baumſtämme unterliegen, wenn die hiezu nöthigen Bedingungen vorhanden ſind, ähnlichen Metamorphoſen und bilden die Braun- und Schwarzkohle mit ihren verſchiedenen Abarten.

140. Während die bis jetzt beſprochenen Kräfte ohne Unterlaß, aber in der Regel nur ſehr allmälig wirken und deren Effecte nur durch Summirung groß werden, wirken Erdbeben und vulkaniſche Ausbrüche mit ungeheurer Intenſität, ſtellen ſich aber nur verhältnißmäßig ſelten ein. Erdbeben ſind horizontale, zuweilen wirbelnde Schwingungen des Bodens, die in unbeſtimmten Zwiſchenräu-

men nach verſchiedenen Richtungen, mit großer aber meßbarer Geſchwindigkeit eintreten und oft von ſtarken, horizontalen, ſchiefen oder ſenkrecht in die Höhe gehenden Stößen begleitet ſind. Dabei ſpaltet ſich oft mit einem unterirdiſchen Getöſe die Erde, es dringen Waſſer und entzündete, ſchwefelig riechende Dämpfe hervor, das Meer und die Atmoſphäre werden unruhig, neue Seen werden gebildet, alte ausgetrocknet, Berge aus dem Meere und auf dem flachen Lande in die Höhe getrieben, ſchon vorhandene verſchlungen und ſo ganze Gegenden verwüſtet und umgeſtaltet. Die Erdbeben ſind an keine Jahres- oder Tageszeit gebunden, ſie ereignen ſich in kalten und warmen, naſſen und trockenen Jahren und bei jedem Alter des Mondes. Meiſtens ſieht man plötzliche Stürme, große Unruhe des Meeres und der Seen, unregelmäßiges Fließen der Quellen, ein dumpfes unterirdiſches Getöſe, Unruhe der Thiere, trübe Beſchaffenheit der Luft als Vorboten dieſes traurigen Ereigniſſes an, doch kann man keines von allen dieſen für ein untrügliches Vorzeichen halten, weil ſie eintreten, ohne daß ein Erdbeben darauf erfolgt und manche Erdbeben ohne ſie eintreten. Nicht jede Gegend iſt den Erdbeben auf gleiche Weiſe ausgeſetzt. In einigen ſind ſie gänzlich unbekannt oder es werden daſelbſt nur höchſt ſelten einzelne Erdſtöße von unbedeutender Wirkung wahrgenommen, während andere Länder faſt alljährlich kleineren Paroxismen dieſer Art unterworfen ſind und nicht ſelten dieſe Naturkraft in ihrer ganzen furchtbaren Stärke fühlen. So z. B. ſind in Oeſtreich und ganz Deutſchland Erdſtöße eine große Seltenheit, in Ungarn (um Komorn) werden ſolche ſchon öfter bemerkt, aber Italien kennt wenige Jahre ohne alle Anmahnung dieſer Art. So ward im Jahre 1844 Raguſa durch mehrere Monate von Erdſtößen heimgeſucht; Unteritalien und die nahe liegenden Inſeln, Syrien, beſonders aber Südamerika zählen wenige Jahre, ohne von Erdbeben zu leiden. Oft ſind ganze Städte dadurch verwüſtet worden. Manchmal bemerkt man einen Erdſtoß nur innerhalb ſehr enger Grenzen, oft erſtreckt er ſich auf mehrere hundert Meilen. So z. B. beſchränkte ſich das Erdbeben vom 2. Februar 1828 nur auf Iſchia und ward weder in den benachbarten Inſeln noch am Continente bemerkt; das vom 17. Juni 1826 hatte zwar den Hauptherd in Neu-Granada, erſtreckte ſich aber ringsum auf mehrere hundert Quadratmeilen. Das Erdbeben vom 1. November 1755, welches Liſſabon zerſtörte, pflanzte ſich bis Lappland fort. (Kries von den Urſachen der Erdbeben. Leipzig 1826.)

141. Mit den Erdbeben ſtehen vulkaniſche Ausbrüche in der innigſten Verbindung, ja erſtere ſind gewiſſer Maßen nur die Vorläufer der letztern. Wenn nämlich die Erde in Folge von erlittenen Erſchütterungen und von Emporhebungen einzelner Stellen berſtet, treten die durch die innere Wärme und die Macht der chemiſchen Verwandtſchaften erzeugten Stoffe hervor und die ganze Wirkung concentrirt ſich mehr oder weniger an der Stelle, wo die Communication des Innern mit der Atmoſphäre hergeſtellt iſt. Die Stoffe, welche bei ſolchen Kataſtrophen ausgeworfen werden, ſind Gaſe und zwar

ſchwefelig ſaure und kohlenſaure Waſſerdämpfe, Ströme heißen oder auch kalten Waſſers, Aſche, Sand, Steine und Felsſtücke, nicht ſelten Schlamm, vorzüglich aber Lava. Aſche, Sand und die ſehr verkleinerten Maſſen, ja ſelbſt Felsſtücke werden oft meilenweit fortgeführt, manchmal häufen ſie ſich um die Austrittsöffnung an. Letzteres thut insbeſondere die Lava, welche ſchon beim Austritt nur zähflüſſig iſt, in der Luft aber bald noch zäher wird und gänzlich ſtockt. Ohne Zweifel bildet ſich ſchon, bevor an einer Stelle die Erde berſtet, an derſelben eine blaſenförmige Erhöhung, dieſe wird aber durch die aufgeworfenen Materien, beſonders durch die Lava noch vermehrt, und ſo kommt es, daß der Ort ſolcher Ausbrüche meiſtens durch einen kegelförmigen, oben mit einer trichterförmigen Oeffnung (Krater) verſehenen Berg bezeichnet wird; man nennt ihn einen **Vulcan**. Länder, welche den Erdbeben häufig ausgeſetzt ſind, müſſen, wie aus dem Vorhergehenden klar iſt, die meiſten Vulcane haben. Es iſt leicht begreiflich, daß auch unter dem Meere ſich Vulcane bilden können. Ein ſolcher vulcaniſcher Ausbruch gibt ſich manchmal nur durch locale Erhitzung des Meeres, durch ein Ziſchen und Brauſen und ein Trübwerden des Waſſers kund, nicht ſelten ſteigt aber der Meeresboden in Folge der Erhebung durch die innere Kraft und der ausgeworfenen Materien über den Meeresſpigel empor und bildet eine vulcaniſche Inſel. Nach **Pöppig** ſah man in der Südſee im Jahre 1825 einen ſchwarzen, vegetationsleeren Fels, der einige Fuß über das Waſſer hervorragte. Er beſtand aus einem breiten Ringe von 800 Schritt Durchmeſſer, der in der Mitte einen kleinen Teich hatte; aus mehreren Riſſen des Ringes ſtieg Rauch, das Waſſer war in der Nähe heiß, und ſelbſt noch in der Entfernung von 4 engl. Meilen um 10 — 15° F. wärmer als anderwärts in gleicher Breite. Der Krater fiel ſo ſchnell ab, daß man ſchon in 100 Faden Entfernung keinen Grund mehr finden konnte. Auf der flachen und fruchtbaren azoriſchen Inſel St. Maria fand man nach Jahresfriſt alles umgeworfen und zerſtört, und ſtatt der Fläche einen 2000 F. hohen Berg mit einem Krater von 15 engl. Meilen im Durchmeſſer. Der Boden des Kraters von Santorin erhebt ſich von Jahr zu Jahr mehr und iſt jetzt ſchon der Meeresfläche nahe, während er früher über 600 F. unter derſelben lag.

142. Die Lava fließt nur dann aus dem eigentlichen Krater aus, wenn dieſer nicht zu hoch iſt. Meiſtens verſchafft ſie ſich in Folge des ſtarken Druckes (eine Lavaſäule von 9 F. Höhe übt ſchon den Druck einer Atmoſphäre) durch Berſten oder Schmelzung der Seitenwände einen Ausgang. Auf nahe horizontalem Boden breitet ſie ſich in einem gleichförmigen Strom aus und bildet mächtige Lavafelder, auf ſchwach (nicht über 18°) geneigtem Boden bildet ſie zwar noch eine zuſammenhängende Maſſe, hat aber bis zu einer Bodenneigung von 3° eine ſehr rauhe Oberfläche zum Beweiſe des mächtigen Beſtrebens zu zerreißen. Ueber mehr als 18° geneigtem Boden fließt ſie nur in einem unterbrochenen Strome. Wiewohl die Geſchwindigkeit, mit der ſie fortfließt, von der Neigung des Bodens und von der Zähheit und Menge

der Maſſe abhängt, ſo iſt ſie doch nur ſelten groß. Auf ebenem Boden geht ſie kaum in einer Stunde um einige Schritte vorwärts. Dabei wird ſie immer zäher und nimmt oft kaum, wenn ſie auch noch fließt, von einem hineingeworfenen Steine Eindrücke an. Hamilton durchging ſogar einmal einen 20 Schritte breiten, noch im Fluſſe begriffenen Strom. Deßungeachtet iſt ſie nur mit einer harten Rinde überzogen, im Inneren glüht ſie noch und iſt flüſſig, ja man erzählt von Strömen, die nach Jahren noch im Inneren flüſſig waren. Spallanzani ging über Lava, die ſeit einem Jahre nicht mehr floß, aber im Inneren noch einen hineingeſtoßenen Stock anzündete, und Hamilton erfuhr etwas Aehnliches bei der Lava des Veſuvs, die vor 3½ Jahren ausgefloſſen war. Man erſieht wohl hieraus, daß die Lava anfänglich eine ungemein hohe Temperatur haben muß, und wirklich fand man, daß Flintenſteine, welche von einem Lavaſtrome eingehüllt wurden, an der Oberfläche geſchmolzen und verglaſet und daß Stücke Eiſen im Inneren kryſtalliſirt waren.

143. Selten iſt ein Vulcan immerfort thätig, ſondern es wechſeln Ausbrüche mit Zeiten der Ruhe. Die Ruhezeit eines Vulcans ſcheint im Allgemeinen mit der Höhe ſeines Kraters im geraden Verhältniſſe zu ſtehen. So brennt der niedere Stromboli faſt immer, ſeltener geſchehen Ausbrüche des höheren Veſuvs, noch ſeltener die des noch höheren Aetna. Der hohe Pick auf Teneriffa hatte in 92 Jahren nur einen Ausbruch, während der Veſuv 16mal wüthete. Allein die Zeit von einem Ausbruche zum andern iſt bei demſelben Vulcane keineswegs immer dieſelbe, oft folgen mehrere Ausbrüche ſchnell auf einander, oft unterbleiben ſie ungewöhnlich lange. So ſchlummerte der Veſuv ſeit undenklichen Zeiten, als er unter Titus plötzlich wieder erwachte und die Städte Pompeji, Herculanum und Stabiá vergrub. Die Bewohner von Catanea hielten die Ausbrüche des Aetna, wovon die Geſchichte erzählte, für Fabel, bis ſie durch einen Ausbruch, der ihre Stadt zerſtörte, die traurige Ueberzeugung vom Gegentheile gewannen. Ueberhaupt iſt die Ruhe eines Vulcans meiſtens nur ſcheinbar; denn wenn auch keine größeren Kataſtrophen erfolgen, ſo geht es doch im Inneren ſehr thätig zu, es ſteigt Rauch auf, man hört ein inneres Getöſe ꝛc. Es ſcheint im Ganzen die vulcaniſche Thätigkeit der Erde im Abnehmen zu ſeyn.

Merkwürdig iſt, was Spallanzani vom Aetna erzählt, in deſſen Krater er im Jahre 1788 hineingehen konnte, weil derſelbe ganz ruhig war. Er bemerkte in der Tiefe eine Oeffnung von etwa 30 Fuß, aus der ſich eine Rauchwolke erhob, er ſah, als der Wind dieſe Wolke ſeitwärts trieb, in der Tiefe der Oeffnung eine flüſſige entzündete Maſſe, die immer leicht aufwallte, fiel und ſtieg. Auf dem Gipfel des Stromboli ſah er gar die Bewegungen der Lava ſehr deutlich. Sie glich geſchmolzener Bronze, ſank und ſtieg, und wurde an der Oberfläche von großen Blaſen aufgebläht, die beim Zerplatzen ein donnerähnliches Geräuſch machten.

144. Der Sitz der Kräfte, welche Erdbeben und vulcaniſche Ausbrüche hervorbringen, iſt ohne Zweifel in einer Tiefe, wo ſchon eine ſehr hohe Temperatur herrſcht, vielleicht gar nahe am flüſſigen Erdkern. Daraus wird die ungemeine Menge der Stoffe begreiflich, die oft bei einer einzigen Eruption hervorgetrieben wird, und der Umſtand, daß die meiſten Vulcane aus vulcaniſcher Maſſe beſtehen. So floß aus dem Aetna i. J. 1699 ſo viel Lava hervor, daß daraus vier Veſuve hätten gebildet werden können, die Aſche gar nicht mitgerechnet. Es iſt daraus von ſelbſt klar, daß alle Vulcane von derſelben Quelle ausgehen und darum nicht zu verwundern, daß weit von einander entfernte Vulcane zugleich ausbrechen oder in den Ausbrüchen mit einander abwechſeln. So brachen i. J. 1769 der Aetna und mit ihm zugleich die Vulcane auf den lipariſchen Inſeln aus, die Vulcane Islands und Kamtſchatkas tobten oft zugleich, und im Jahre 1693 verſank im großen indiſchen Ocean die Inſel Sorca in Folge eines Ausbruches des dortigen Vulcans an demſelben Tage, an welchem der Aetna am furchtbarſten wüthete. Der Hekla und Veſuv wechſeln oft mit einander ab. (Ueber Vulcane ſiehe: Hamilton's Beobachtungen über den Veſuv, den Aetna und über andere Vulcane, aus dem Engl. Berlin 1763. Deſſelben neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens und am Rhein. Frankfurt und Leipzig 1783. Dolomieu, Reiſe nach den lipariſchen Inſeln. Aus d. Franzöſ. Leipzig 1783. Spallanzani, Reiſe nach den beiden Sicilien. Leipzig 1795. D'Aubuiſſon's Geognoſie. Dresden 1821. I. Bd. S. 150 u. f. Ueber den Bau und die Wirkungsart der Vulcane von A. Humboldt. Berlin 1823. Scrope on the volcanos. London, 1825. Buch in Pogg. Ann. 10. 169. Davy in Zeitſchr. 5. 222.)

145. Die Laven und andere geſchmolzene Auswürfe der Vulcane werden ſchon durch Abkühlen feſt, Sand und Aſche backen durch Druck mit Hülfe des Waſſers zu compakten Maſſen zuſammen. Eben dieſes geſchieht auch mit den Producten der Verwitterung, den Sedimenten ꝛc. und ſomit zeigt ſich auch hier der bei ſo vielen anderen Thätigkeiten bemerkbare Kreislauf in der Natur. Während einerſeits feſte und cohärente Maſſen zerrieben und gleichſam gepulvert oder aufgelöſet werden, backen ſie anderwärts wieder zu cohärenten Körpern zuſammen und das Reſultat des Ganzen iſt eine beſtändige Umſtaltung der Erde. Dabei behalten aber die Sedimente aus dem Waſſer gegen die aus dem geſchmolzenen Zuſtande erſtarrten Maſſen einen eigenthümlichen Charakter. Die Bildungen auf naſſem Wege (neptuniſchen Urſprungs) ſind geſchichtet, unterliegen allgemeinen Regeln der Lagerung und enthalten meiſtens Reſte von Thieren und Pflanzen. Schichten, in welchen dieſe Reſte denſelben organiſchen Bildungen angehören, ſind wahrſcheinlich zu gleichen oder nicht in ſehr entfernten Zeiten gebildet worden, hingegen ſolche, in welchen Ueberreſte von Organismen vorkommen, die nur in ſehr entfernten Zeiten gelebt haben können, müſſen auch an Alter ſehr verſchieden ſeyn.

Producte des Feuers (vulcaniſche Bildungen) kennen keine Spur von Schichtung, wohl aber ein kryſtalliniſches Gefüge und enthalten nie Reſte von Thieren oder Pflanzen. In Bezug auf die Verbreitung haben die neptuniſchen Gebilde bei weitem das Uebergewicht, wiewohl es möglich iſt, daß in großen Tiefen die vulcaniſchen Producte vorwalten. Ablagerungen durch den Einfluß der Schwere und der Cohärenz, welche unter ähnlichen Verhältniſſen entſtanden ſind, bilden eine Formation. Es gibt demnach neptuniſche und vulcaniſche Formationen. Man unterſcheidet und bezeichnet ſie nach dem Geſtein, das ſie vorwaltend enthalten. So ſpricht man von einer Kalkformation, von einer Sandſteinformation, Granit-, Trappformation ꝛc. ꝛc. Man hat ſich vielfach bemüht, die verſchiedenen Formationen nach ihrem Alter zu klaſſificiren und hat denſelben auch Benennungen gegeben, die auf die Art der Aufeinanderfolge hindeuten, wie z. B. primäre, ſecundäre, tertiäre Formation. Man iſt aber nicht allgemein der Meinung, daß man hiezu ſchon Anhaltspuncte genug habe.

146. Wenn man die Beſchaffenheit und Lagerungsweiſe der neptuniſchen Bildungen ſo wie die darin vorkommenden organiſchen Ueberreſte näher betrachtet, ſo überzeugt man ſich, daß ſie häufig nicht mehr in dem Zuſtande ſich befinden, wie ſie ſich aus dem Waſſer abgeſetzt haben müſſen. Ruhig aus oder im Waſſer ſich bildende Sedimente ſchichten ſich immer parallel und alle Theile nehmen die Lage der größten Stabilität an. Selten findet man aber eine parallele Lagerung der entſchieden neptuniſchen Gebilde ſondern ſie ſind meiſtens verſchoben, verrückt, zerriſſen, mit in den Spalten eingekeilten fremdartigen Körpern. Nach Sauſſure's Beobachtungen liegen die eiförmigen Kieſelgeſchiebe dort wo die Schichten horizontal gelagert ſind, ſo daß ihre große Axe horizontal iſt und wie es die größte Stabilität fordert; wo aber die Erdſchichten geneigt ſind, da haben auch die großen Axen jener Geſchiebe, welche in der Richtung der Neigung liegen, dieſelbe Neigung wie die Schichten ſelbſt, während die auf jener ſenkrecht gerichteten Axen der Geſchiebe noch ihre horizontale Lagerung beibehalten haben. Auf den Gipfeln der höchſten Berge finden ſich Conchylien und andere Waſſergeſchöpfe in mehrere Fuß hohen Lagern abgeſetzt und häufig iſt ein ſolches Lager von anderen durch fremdartige Zwiſchenſchichten getrennt. Hier müſſen alſo die ſchon auf naſſem Wege gebildeten Schichten gewaltſam verändert worden ſeyn.

147. Die naturgemäßeſte Hypotheſe zur Erklärung dieſer Erſcheinungen geben die noch jetzt Statt findenden vulcaniſchen Ausbrüche und Erdbeben an die Hand. Dieſelbe Kraft, welche die Lava bis zur Kratermündung des Aetna hebt, kann auch ganze Strecken blaſenförmig in die Höhe heben, ohne es zu einem förmlichen Ausbruch bringen, ſie kann Schichten verrücken, Spalten erzeugen und ſie mit fremdartigen Subſtanzen aus dem Inneren der Erde füllen. Dieſe Wirkungen brauchen nicht immer ſo tumultuariſch und heftig einzutreten, wie bei Erdbeben und vulcaniſchen Ausbrüchen, ſondern ſie können auch all-

mälig und ohne bemerkbare Erſchütterung Statt finden, wie dieſes in einem großen Theil von Schweden und Finnland geſchieht, von denen man es als erwieſen anſieht, daß ſie in einem fortwährenden, wenn auch langſamen Emporſteigen begriffen ſind. Wirkungen dieſer Art, müſſen natürlich in früheren Zeiten viel häufiger geweſen ſeyn als jetzt, da nur wenige Vulcane mehr in Thätigkeit ſind, ganze Ketten aber als ausgebrannt daſtehen. (Arago in dem Annuaire pour l'an 1834. Pogg. 31. 365; 32. 284; 34. 191; 35. 109.)

Folgende Werke können zu einem ausführlichen Unterrichte über die Materie dieſes Abſchnittes dienen: Phyſiſche Erdbeſchreibung von Mitterbacher. Wien 1750. Kant's phyſiſche Geographie. Königsberg 1802. Bode's Kenntniß der Erdkugel. Berlin 1820. Förſter's Einleitung in die allgemeine Erdkunde. Berlin 1820. Allgemeine phyſikaliſche Erdbeſchreibung, von Hochſtetter. Stuttgart 1823. Band 2 und 3. Gemälde der phyſ. Welt von J. G. Sommer. Prag 1818—1825. Phyſikaliſche Geographie von Fr. Hoffmann. Berlin 1837. Gehler's Wörterb. neu bearb. Artikel: Erde (Erdkruſte). Lehrbuch der math. und phyſ. Geographie von Dr. J. C. Schmidt. 2 Bde. Göttingen 1830. Handbuch der mathem. und phyſ. Geographie nebſt Atmoſphärologie von Dr. G. W. Muncke Heidelberg 1830. Handbuch der phyſikaliſchen Erdbeſchreibung von H. H. Link. Berlin 1826. Geſchichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche von Hoff. Gotha 1822. De la Metherie, leçons de Géologie. Paris 1816. Bakewell, Einleitung in die Geologie ꝛc. Freiberg 1815. Reichetzer, Anleitung zur Geognoſie. Wien 1821. D'Aubuiſſon, Geognoſie. Dresden 1821. Neues Syſtem der Geologie, von A. Ure 1830. Elémens de Géologie par J. D'Omelius d'Halloy. Paris 1831. A Geological Manual by H De la Bêche. London 1831. Ins Deutſche überſetzt von Dechen, unter dem Titel: Handbuch der Geognoſie von De la Bêche. Berlin 1832. A System of Geology by J. Macculloc. London 1831. Principles of Geology by Ch. Lyell. London 1830. Grundzüge der Geologie und Geographie von K. R. Leonhard. Heidelberg 1839. Die Phänomene der Geologie von Dr. G. Mantell. Aus dem Engliſchen. Bonn 1839. Lehrbuch der phyſikaliſchen Geographie von B. Studer. Bern 1844 (noch unvollendet). Die Revolutionen des Erdballs, von Dr. A. Bertrand, a. d. Franz. Kiel 1844. Geſchichte der Geognoſie von Fr. Hoffmann. Berlin 1838.

Dritter Abſchnitt.

Meteorologie.

148. Die Atmoſphäre unſerer Erde iſt beſtändig inneren Bewegungen und Veränderungen unterworfen, unaufhörlich wird das Gleichgewicht in ihr geſtört, weil bald dort, bald da Aenderungen in der Temperatur und im Drucke der Luft eintreten und durch die ununterbrochen vor ſich gehenden chemiſchen Prozeſſe, ſo wie durch das Leben der Thiere und der Pflanzen die Beſtandtheile der Atmoſphäre beſtändig geändert werden, mithin immer neue Ausgleichungen nöthig ſind. Dazu kommen noch diejenigen Erſcheinungen im Luftkreiſe, welche durch das Licht, die Elektricität und vielleicht auch durch manche, unſeren phyſikaliſchen Laboratorien ganz fremde Thätigkeiten hervorgebracht werden. Dieſe Phänomene folgen bald ganz regelmäßig, bald ohne erkennbare Regelmäßigkeit mit verſchiedenem Grade der Geſchwindigkeit auf einander und machen zuſammen die Witterung, oder wie man zu ſagen pflegt das Wetter aus. Die Erſcheinungen des Luftkreiſes auf erkannte Naturgeſetze zurückzuführen, iſt der eigentliche Gegenſtand der Meteorologie, die man ja nicht mit der Meteorognoſie (Meteoromantie) oder der Kunſt, die Witterung vorherzuſagen, verwechſeln darf. Von letzterer kennen wir kaum mehr als einige wenige Fragmente, die ſich überdieß meiſtens nur auf einzelne Gegenden beziehen.

Erſtes Kapitel.

Die Atmoſphäre und ihre Zuſammenſetzung.

149. Es iſt eine natürliche Folge der Schwere der Luft, daß ſie die Erde ringsum wie eine hohle Schale einhüllt. Wäre ſie nicht zuſammendrückbar, ſo würde ſie in jeder Höhe dieſelbe Dichte behaupten und, da ſie an der Erdoberfläche einen Druck ausübt, der durchſchnittlich einer Queckſilberſäule von 28 P. Z. das Gleichgewicht hält, ſo würde ſie bei einer Temperatur von 0° C. eine Höhe von 24500 F. oder nahe von 1 geogr. Meile erreichen. Ihre große Zuſammendrück-

barkeit und Ausdehnſamkeit macht aber, daß ſie bis zu einer viel größeren Höhe hinaufreicht und ſich bis dahin erſtreckt, wo die Lufttheilchen von den zunächſt darunter befindlichen eben ſo ſtark abgeſtoßen werden, als ſie die Schwere zur Erde herabzieht. Es wäre leicht, dieſe Höhe zu berechnen, wenn bekannt wäre, welche Temperatur in verſchiedenen Höhen herrſcht. Man weiß aber nun mit Beſtimmtheit, daß die Temperatur nach oben, wenigſtens ſo weit unſere Beobachtungen reichen, abnimmt, kennt jedoch das Geſetz dieſer Abnahme nicht. Den Geſetzen der Vertheilung der Wärme gemäß, glaubt man annehmen zu dürfen, es nehme dieſe Temperatur in einer geometriſchen Reihe ab, wenn die Höhen in einer arithmetiſchen Reihe wachſen. Legt man dieſer Annahme die Erfahrung zum Grunde, daß von der Erdoberfläche an zu einer Abnahme der Temperatur von 1° R. eine Höhe 121.1 Toiſen gehöre, ſo findet man am Aequator, wo der mittlere Barometerſtand 337.3 P. L. und die mittlere Temperatur 22°.4 R. iſt, die Höhe der Atmoſphäre = 27.5 geogr. Meilen; an jener Stelle der Erde hingegen, wo bei demſelben mittleren Luftdrucke eine mittlere Temperatur von 8° herrſcht, = 27.1 geogr. Meilen. Die Atmoſphäre hat alſo wie die Erde ſelbſt eine Abplattung und dieſe beträgt, den angeführten Zahlenwerthen gemäß $^1/_{234}$ (Schmidt in Gilb. Ann. 62. 309. Zeitſch. 8. 420.)

Viel kleinere Zahlen findet man für die Höhe der Atmoſphäre in der Vorausſetzung, daß die Temperatur derſelben in einer arithmetiſchen Reihe abnehme, wenn auch die Höhen in einer ſolchen Reihe wachſen und zwar gibt da die Rechnung Höhen von 7.2 und 6.6 geogr. M. Nahe dasſelbe Reſultat erhält man, wenn man jene Schichte der Atmoſphäre als die Grenzſchichte anſieht, wo die Luft eben noch im Stande iſt, Licht zu reflectiren und die Dämmerung hervorzubringen. Allein dieſe Vorausſetzung über das Geſetz der Abnahme der Temperatur nach Oben iſt nicht mit den Geſetzen der Wärmevertheilung vereinbarlich und eine Luftſchichte, welche nicht mehr im Stande iſt, Luft zu reflectiren, iſt nicht nothwendig die letzte; ſomit können dieſe Reſultate nicht für naturgemäß angeſehen werden.

150. Die Hauptbeſtandtheile der atmoſphäriſchen Luft ſind bekanntlich Sauerſtoffgas und Stickgas. In geringer Quantität kann auch überall Kohlenſäuregas und Waſſerdunſt nachgewieſen werden. Ueberdieß findet man zeitweilig in derſelben Ammoniakgas, Salpeterſäure, Salzſäure, Kohlenwaſſerſtoffgas, Schwefelwaſſerſtoffgas, ſogar Kochſalz und andere Chloride. Der Gehalt an jedem dieſer Beſtandtheile iſt, ſtreng genommen, veränderlich, doch ſind die Veränderungen nicht bei allen gleich groß, auch ſind die Inſtrumente und Verfahrungsarten, mittelſt deren man dieſe Veränderungen nachweiſen kann, nicht für alle Stoffe gleich genau und gleich empfindlich. Der Gehalt an Sauerſtoffgas und Stickgas iſt ſo wenig veränderlich, daß man ihn wohl für conſtant halten und annehmen kann, es ſeyen in 100 Theilen einer von den übrigen Stoffen befreiten Luftmaſſe immer ſehr nahe 21 Raumtheile Sauerſtoffgas und 79 Raumtheile Stickgas oder 23 Gewichtstheile Sauerſtoffgas und 77 Gewichtstheile Stickgas enthal-

ten. Nur über dem Meere ſcheint der Sauerſtoffgehalt manchmal merklich geringer zu ſeyn (bei Copenhagen 22.58 pCt.), was offenbar davon herrührt, daß Waſſer mehr Sauerſtoff als Stickgas abſorbirt. Die geringe Veränderlichkeit dieſes Verhältniſſes darf nicht befremden, ungeachtet Menſchen und Thiere fortwährend Sauerſtoffgas conſumiren und gährende und verbrennende Subſtanzen es aufnehmen, und zwar darum, weil die Vegetation eine reichliche Quelle von Sauerſtoffgas eröffnet, indem Pflanzen bei Tage Kohlenſäure aufnehmen, ſich den Kohlenſtoff aneignen und den Sauerſtoff frei machen und die ganze Conſumtion an Sauerſtoff durch Menſchen im Verhältniß zum ganzen Gehalte der Luft an dieſem Beſtandtheil ſo gering iſt, daß 1000 Millionen ſolcher Geſchöpfe in 10000 Jahren nicht mehr als $^1/_{10}$ pCt. des ganzen Vorrathes verbrauchen.

Der Gehalt an Kohlenſäuregas iſt an und für ſich ſehr gering, unterliegt aber verhältnißmäßig viel größeren Variationen als Sauerſtoff und Stickſtoff. Nach Th. v. Sauſſure und Verver enthalten 10000 Volumentheile atm. Luft im Mittel 4.15 Raumtheile oder 10000 Gewichtstheile Luft 6.32 Gewichtstheile Kohlenſäuregas; das Maximum dieſes Gehaltes ſteigt aber auf 5.35, das Minimum ſinkt auf 3.33 Raumtheile, welches einer Variation von mehr als $^1/_5$ des Mittelgehaltes entſpricht. Dieſer Beſtandtheil nimmt an trockenen Tagen zu und ſinkt in Folge der Statt findenden Abſorption in naſſer Zeit; aus demſelben Grunde kommt er über Waſſer ſparſamer vor, als auf dem feſten Lande. In höheren Orten iſt der Gehalt an Kohlenſäure größer als in tiefer liegenden, bei windigem Wetter größer als an windſtillen Tagen. Da ſich dieſes Gas wegen ſeiner großen Dichte ſchwer verbreitet, ſo muß es ſich an Orten, wo es reichlich entwickelt wird, beſonders anhäufen, wie dieſes oft in Brunnen, über Sauerwaſſer liefernden Quellen, in der ſogenannten Hundsquelle bei Neapel ꝛc. bemerkt wird. Der Waſſergehalt der Luft iſt ſehr großen Veränderungen unterworfen und es läßt ſich kaum ein allgemein gültiges Mittel angeben. In der Folge wird von dieſem Beſtandtheil und ſeinen Variationen beſonders die Rede ſeyn.

Durch Fäulniß entſteht fortwährend Ammoniakgas und alle thieriſchen Körper geben zuletzt ihren Stickſtoff in dieſer Form an die Atmoſphäre ab. Es wird vom Waſſer aufgenommen und fällt mit dieſem in Form von Regen, Thau und Hagel herab. Man kann es wegen ſeiner geringen Menge nicht ſelbſt entdecken, im Regenwaſſer läßt es ſich aber unzweideutig nachweiſen, wenn man das Waſſer mit Zuſatz von Schwefelſäure oder Salzſäure zur Trockne abdampft, wie Liebig gezeigt hat. Das bei Gewittern fallende Regenwaſſer enthält immer Spuren von Salpeterſäure, wahrſcheinlich in Folge elektriſcher Entladungen, bei denen ſich die Säure aus dem Sauerſtoff und Stickſtoff bildet. Kohlenwaſſerſtoffgas verräth ſich oft durch den Geruch in der Nähe von Sümpfen und ſtagnirenden faulen Wäſſern, Schwefelwaſſerſtoffgas in vielen Badeörtern, wo es Quellen entweichen laſſen. Ueber dem Meere findet man Spuren von Salzſäure,

Kochſalz und anderen Chloriden. Ohne Zweifel kommen noch viele andere Stoffe in der Luft vor, man kann ſie aber nicht durch chemiſche Mittel nachweiſen. So entwickelt ſich entſchieden an mehreren Orten (bei Florenz, Baku, Taman) Waſſerſtoffgas in reichlicher Menge aus der Erde, man kann es aber nicht in der Atmoſphäre auffinden. Ebenſo iſt das Daſeyn von Anſteckungsſtoffen (Miasmen) zu Zeiten nicht in Zweifel zu ziehen und doch iſt es noch Niemand gelungen, ſie durch chemiſche Mittel nachzuweiſen.

Die der Geſundheit mehr oder weniger zuträgliche Beſchaffenheit der Luft rührt nicht von einem Mißverhältniſſe der Hauptbeſtandtheile oder gar vom Mangel eines ſolchen her, ſondern von dem Grade der Wärme und Trockenheit und den Veränderungen derſelben und vom Daſeyn heterogener nicht nachweisbarer Stoffe. Luft, die ihren vollen Gehalt an Sauerſtoff enthält, iſt oft ſchon erſtickend, weil ſie eine andere irreſpirable Gasart, wenn auch nur in geringem Grade enthält. So z. B. ſtirbt in einer Luft, die nur 3 pCt. Kohlenſäuregas enthält, ein Vogel alſogleich, bei 1 pCt. Kohlenoxydgas in 2 Minuten. Luft, die $^1/_{240}$ Vol. Schwefelwaſſerſtoffgas enthält, tödtet ein Pferd in 1 Minute, mit $^1/_{622}$ einen mittelgroßen Hund, mit $^1/_{1500}$ einen Vogel auf der Stelle. Darum empfiehlt Thénard dieſes Gas zum Vertilgen der Mäuſe, Ratten ꝛc. Viele meinen, wenn in einem Raume ein Licht brennt, ſo kann darin auch ein Menſch nicht erſticken; ſie prüfen darum die Luft in einem verdächtigen Orte auf ihre Reſpirabilität durch ein Licht, das ſie an einer Stange vor ſich hinablaſſen. Allein lichtverlöſchend und unathembar ſeyn ſind zwei verſchiedene Eigenſchaften. Es gibt Luftarten, in denen Lichter ſehr gut brennen und doch Menſchen erſticken und andere, in denen kein Geleuchte brennt, aber Menſchen leben können. Glücklicherweiſe kommen aber letztere ſeltener vor als erſtere. (Ueber unterirdiſche Gasarten ꝛc. von A. v. Humboldt. Braunſchweig 1799. Leblanc in Ann. de Chim. Sec. III. s. 223.)

151. Die Beſtandtheile der atm. Luft bilden ein mechaniſches Gemenge, nicht eine chemiſche Verbindung. Dafür ſprechen alle Eigenſchaften derſelben, wie z. B. das ſpecifiſche Gewicht, das Lichtbrechungsvermögen, die Wärmekapacität, die Fortpflanzung des Schalles ꝛc. Es muß daher jeder dieſer ausdehnſamen Stoffe für ſich eine eigene Atmoſphäre bilden, die unabhängig von der jedes anderen beſteht. Wäre in der Atmoſphäre vollkommene Ruhe, ſo müßte ſie, weil nicht jede jener Partialatmoſphären gleich hoch reicht, in jeder Höhe eine andere Zuſammenſetzung haben; allein die beſtändigen Bewegungen, beſonders die faſt immer vorhandenen verticalen Strömungen laſſen ſolche Ungleichheiten nicht aufkommen und etwaige Verſuche über die Zuſammenſetzung der Luft in verſchiedenen Höhen können weder für noch gegen die mechaniſche Verbindung der Beſtandtheile einen Beweis liefern.

Zweites Kapitel.

Wärmeverhältniſſe.

152. Die meiſten und wichtigſten Veränderungen in der Atmoſphäre haben in den Wärmeverhältniſſen ihre letzte Wurzel und können nicht in ihrem Zuſammenhange erkannt werden, ohne mit dieſen Verhältniſſen vertraut zu ſeyn. Eben dieſe Verhältniſſe haben aber auch auf den Haushalt im Reiche der Organismen einen ſehr bedeutenden Einfluß, und ſomit erſcheint die Vertheilung der Wärme in und auf der Erde und in der Atmoſphäre als eines der wichtigſten Objecte der wiſſenſchaftlichen Betrachtung des Phyſikers.

Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde iſt die Sonne. Sie ſendet mit dem Lichte zugleich auch Wärmeſtrahlen aus, doch erwärmen letztere nur in dem Maße, als ſie abſorbirt werden. Darum kommt es, bezüglich der durch ſie zu bewirkenden Erwärmung nicht bloß auf die in einer beſtimmten Zeit einfallende Strahlenmenge, ſondern auch auf den Winkel an, unter welchem dieſe einfallen, und auf die Natur der Körper, welche ſie treffen. Auf dem wenn auch langen Wege durch die Atmoſphäre erfahren die Wärmeſtrahlen wegen der großen Diathermanität der Luft nur eine ſehr geringe Abſorption und darum iſt auch die Erwärmung, welche der Luft durch die Sonne unmittelbar zu Theil wird, nur gering. Am meiſten wirken die Wärmeſtrahlen auf die Erde ſelbſt erwärmend und die Temperatur der Luft wird größtentheils durch die Wärme beſtimmt, die ihr von der Erde zu Theil wird.

153. Dem Vorhergehenden zu Folge muß der Gang der Wärme auf der Erde hauptſächlich durch die tägliche und jährliche Bewegung der Erde beſtimmt werden. Vermöge der täglichen Bewegung geht die Sonne täglich im Oſten auf, ſteigt immer höher, bis ſie den Meridian erreicht und ſenkt ſich dann wieder, um an der Weſtſeite ſich unter den Horizont zu tauchen. Vermöge der jährlichen Bewegung ändert ſich täglich die Stellung der Sonne gegen die Erde und ſelbſt die Tagesdauer wechſelt von Tag zu Tag an allen Orten, die außerhalb des Aequators liegen. Es muß daher nothwendig auch der Gang der Wärme eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen.

154. Ueber den täglichen Gang der Wärme lehren Beobachtungen, die man an einem in der Luft hängenden, vor Wind, Regen und ſtrahlender Wärme geſchützten Thermometer anſtellt, daß die Temperatur innerhalb 24 Stunden einen größten und einen kleinſten Werth erreiche. Etwa 20 Minuten vor Sonnenaufgang findet das Minimum der Temperatur Statt und von da an beginnt ein Steigen derſelben und dauert in der Regel im Winter bis zwiſchen 12 und 1 Uhr, im Sommer bis zwiſchen 2 — 3 Uhr Nachmittags, wo das Maximum der Temperatur eintritt, ein Zurückweichen der Wärme beginnt und bis zum kleinſten Werthe anhält. Nur Küſtenländer machen oft von dieſer Regel eine Ausnahme. Da der Son-

nenaufgang, mithin auch die Zeit des Minimums im Winter dem Mittag näher iſt als im Sommer, und auch das Maximum im Winter dem Mittag näher ſteht als im Sommer; ſo ſieht man, daß die Wendeſtunden des täglichen Wärmeganges mit dem Winter näher an den Mittag rücken, alſo das Geſetz, welches ſich bei vielen andern täglichen Variationen darſtellt, auch in Bezug auf Temperatur gelte. Der Umfang der täglichen Variationen der Wärme iſt ſowohl in denſelben Orten zu verſchiedenen Zeiten, als zur ſelben Zeit in verſchiedenen Orten verſchieden. Bei uns iſt der Unterſchied zwiſchen dem täglichen Maximum und Minimum im December am kleinſten, im April am größten, und er wächſt daher vom December den Winter hindurch bis April, und nimmt von da an während des Sommers und Herbſtes bis zum December ab. Man kann es als Regel anſehen, daß da, wo man vier Jahreszeiten hat, die tägliche Variation im Winter am kleinſten, im Frühling am größten ſey. In Orten von verſchiedener geographiſcher Breite iſt der Umfang der täglichen Variation der Wärme auch in denſelben Monaten verſchieden. Im Allgemeinen wächſt ſie mit der geographiſchen Breite, doch haben auch noch andere Momente darauf Einfluß, von denen ſpäter die Rede ſeyn wird. Zur Beſtimmung dieſer Größe dienen vorzüglich die Maximum- und Minimum-Thermometer (I. 28.)

155. Die Summe der Temperaturen aller Zeitabſchnitte, aus denen ein Tag beſteht, getheilt durch die Anzahl dieſer Abſchnitte, gibt die **mittlere** Temperatur eines Tages. Wegen des langſamen Ganges der Wärme brauchen dieſe Zeitabſchnitte nicht gar klein zu bleiben und es genügt, von Viertel- zu Viertelſtunde zu beobachten, ja man hat, indem man den mittleren Wärmegrad auf ſolche Weiſe direct aus Beobachtungen geſucht hat, Mittel gefunden, ihn auf eine viel weniger mühſame Weiſe zu beſtimmen. Die Temperatur ſteht nämlich einige Stunden des Tages unter, einige Stunden ober dem täglichen Mittel, und es muß bei dem ſtetigen Gange der Wärme Vor- und Nachmittag einen Zeitpunct geben, wo der Wärmegrad der Mitteltemperatur gleich iſt. Der Erfahrung zu Folge tritt dieſes zwiſchen 9 — 10 Uhr Vormittags und um 8 Uhr Abends ein. Man braucht alſo nur an einer dieſer Stunden zu beobachten, um das gewünſchte Reſultat zu erhalten. Noch genauer gelangt man zum Ziele, wenn man mehrere im Laufe eines Tages angeſtellte Beobachtungen gehörig benützt. Doch muß bemerkt werden, daß dieſes wohl der Regel nach der Fall ſey, daß aber oft Störungen in dem von der Einwirkung der Sonne abhängigen Gange der Natur Statt finden, und man daher auf ſolche Weiſe die mittlere Tageswärme nicht genau genug erhält.

Für Tage, deren Temperatur keiner beſonderen Störung unterliegt, gibt das Mittel aus dem Maximum und Minimum der Temperatur mittelſt eines empiriſch beſtimmten Correctionsfactors (Kämtz Vorleſungen über Meteorologie. Halle 1840. S. 29) die mittlere Temperatur völlig genau. Nach den zu Leith, Apenrade und Padua angeſtellten, ſtündlichen Beobachtungen erhält man die mittlere Tagestempe-

ratur aus zwei Beobachtungen, einer vor- und einer nachmittägigen, die um $11\frac{1}{4}$ Stunden von einander abſtehen. Nach Brewſter gibt die halbe Summe zweier in gleichnamigen Stunden (z. B. 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends) erhaltenen Reſultate die mittlere Tagestemperatur. Beobachtet man täglich um 7 Uhr Früh und um 2 und 9 Uhr Abends, wie dieſes nach den Beſtimmungen der Mannheimer meteorologiſchen Societät zu geſchehen hätte, ſo erhält man nach Kämtz das tägliche Mittel t durch die Formel $t = \frac{VII + II + 2\,IX}{4}$, wo VII, II, IX die um 7, 2, 9 Uhr beobachteten Temperaturen bezeichnen. Nach Humboldt gelangt man auch zum Zwecke, wenn man zu beliebigen Stunden beobachtet, die gefundene Temperatur mit der Zeit multiplicirt, welche zwiſchen ihr und der folgenden liegt, und die Summe der Producte durch 24 theilt. Am Wiener Obſervatorium wird um 8 Uhr Morgens, um 3 und 10 Uhr Abends beobachtet. Sind VIII, III, X die beobachteten Temperaturen, ſo iſt die mittlere Wärme t durch folgende Gleichung gegeben: $t = \frac{7\,VIII + 7\,III + 10\,X}{24}$. Dieſer Regel gemäß ſollte auch das Mittel aus zwei um 12 Stunden von einander entfernten Beobachtungen die mittlere Tageswärme geben. Nach Kämtz eignen ſich dazu beſonders gut 4 Uhr Morgens und Abends und 10 Uhr Morgens und Abends. Bei mehreren mit dieſer Regel vorgenommenen Proben zeigte ſie ſich faſt immer bis auf 0° 1 C. genau. (Kämtz in Schweigg J. 48. 1. Humboldt sur les lign. isoth. p. 491 u. f.)

156. Wäre die Erdbahn parallel mit dem Aequator, ſo müßte ſowohl die Dauer der täglichen Einwirkung der Sonne als die momentane Wirkung derſelben das ganze Jahr hindurch gleich ſeyn und es gäbe wenigſtens von dieſer Seite keinen Grund für eine Aenderung der mittleren Tageswärme das ganze Jahr hindurch. Die Neigung der Erdbahn gegen den Aequator macht aber, daß ſich die Tageslänge ſowohl als die Mittagshöhe der Sonne täglich ändert und daß daher auch die mittlere Tageswärme eine jährliche Periode befolgt. So wie man nun aus den Temperaturen der einzelnen Zeittheile eines Tages die mittlere Tagestemperatur findet, eben ſo kann man aus den mittleren Wärmegraden der Tage eines Monats die mittlere Monats-Temperatur beſtimmen und aus der Vergleichung dieſer für verſchiedene Monate endlich den Gang der Wärme von Monat zu Monat ableiten. Daß aus den Monatmitteln endlich das Jahresmittel gefunden werden könne, iſt für ſich klar. Wirklich angeſtellte Beobachtungen zeigen folgende Geſetze dieſes Ganges: Zwiſchen den Wendekreiſen erreicht die mittlere Monatswärme zwei Maxima und zwei Minima und zwar ſteigt die Temperatur in der nördlichen Zone vom Jänner bis zum April oder Mai, ſinkt von da bis zum Juni oder Juli und ſteigt dann wieder bis zum September, von wo ſie dann wieder bis zum Jänner abnimmt. Unter dem Aequator erfolgt Steigen und Fallen der Temperatur nach demſelben Geſetze, mit wachſender Breite weicht das Geſetz der Temperaturzunahme von jenem der Abnahme immer mehr ab und die Eintritte der zwei Maxima, welche

unter dem Aequator ein halbes Jahr von einander abſtehen, rücken einander immer näher, bis ſie bei 15 — 20° Breite in ein einziges Maximum zuſammenfallen. In mittleren und höheren nördlichen Breiten gibt es überhaupt nur ein einziges jährliches Maximum und Minimum und zwar fällt erſteres in den Monat Juli, letzteres in den Monat Jänner. In der nördlichen gemäßigten Zone erleidet der Gang der Wärme auch mehrere hervorſtechende Unterbrechungen. Dieſes hat vorzüglich Brandes aus der Vergleichung, nicht der monatlichen Mittel, ſondern der mittleren Temperatur von je drei Tagen, ſchön nachgewieſen. Die größte Kälte fällt nämlich faſt überall in die erſten Tage des Jänners und vermindert ſich von da fortwährend ohne allgemeine Unterbrechung bis gegen Ende desſelben Monats, wo eine Wärmeabnahme eintritt, die mit geringen Abwechslungen einen halben Monat anhält. Nach Verlauf dieſer Zeit, alſo in der zweiten Hälfte des Februars, beginnt wieder eine mildere Witterung, wird aber durch eine neue Kälte (Nachwinter) auffallend unterbrochen, die in den öſtlichen und nördlichen Gegenden früher merklich wird, auch mehr erheblich iſt, als in den weſtlichen und ſüdlichen. Nachdem dieſe vorüber iſt, fängt die Temperatur allmälig zu ſteigen an und wächſt mit wenigen Unterbrechungen mit größeren oder geringeren Schritten bis zur Zeit der größten Sommerhitze. Dieſe tritt in den nördlichen Gegenden früher als in den ſüdlichen ein, weil auch dort die Tage ſchneller wachſen als hier. Von dem Zeitpuncte der größten Wärme nimmt die Temperatur ab und zwar in den ſüdlichen Gegenden langſamer als in den nördlichen, erreicht aber im zweiten Drittel des Auguſt wieder einen ziemlich hohen Grad. Von da beginnt nun, beſonders in den nördlicheren Gegenden eine ſchnelle Abnahme der Wärme bis zum Anfange Oktober, wo mit dem bekannten Nachſommer eine abermalige Erhöhung der Temperatur eintritt. Nach Verlauf des Nachſommers nimmt die Kälte mit wenigen Unterbrechungen bis zum größten Grade zu. (Unterſuchungen über den mittleren Gang der Wärmeänderungen durchs ganze Jahr von Brandes. Leipzig 1820. S. 1—26.)

Für Wien haben 60jährige Beobachtungen die mittlere Temperatur jedes der zwölf Monate eines Jahres ſo kennen gelehrt, wie folgt:

Jänner	— 1°.207	Juli	17.221
Februar	0.676	Auguſt	16.873
März	3.910	September	13.294
April	8.824	Oktober	8.539
Mai	13.400	November	3.713
Juni	15.768	December	0.461

Jährlicher Durchſchnitt 8°.459. R.

Unter dem Aequator fallen nach Erman die zwei wärmſten Tage mit einer Temperatur von 24°.5 R. auf den 19. – 20. April und den 22. — 23 Oktober, die zwei kälteſten mit einer Temperatur von 20°.6 R. auf den 19 — 20. Jänner und den 22 — 23. Juli. Nach Bouvard tritt zu Paris die größte Sommerhitze am 15. Juli, die

größte Winterkälte am 14. Jänner, mithin 6 Monate nach jener ein, beide erfolgen 25 Tage nach dem Solſtitium. Die vom wärmſten Monat Juli gleich weit abſtehenden Monate März und November haben auch eine gleiche Temperatur (6°.78 und 6°.78), und der 5. März hat genau dieſelbe Temperatur wie der 24. November. Nach Kämtz fällt die höchſte und geringſte Temperatur des Jahres in nachſtehenden Orten auf die ihnen beigeſetzten Tage:

Enontekis:	20 Jän.,	26. Juli	Padua:	15. Jän.,	26. Juli.
Chriſtiania:	17. »	20. »	Rom:	17. »	1. Aug.
Upſala:	16. »	21. »	Capſtadt:	2. Feb.	6. Juli.
Fort Sullivan:	24. »	29. »	Fort Johnſton:	18. Jän.,	21. »
Mancheſter:	12. »	27. »	Abusheher:	12. »	18. »
Turin:	3. »	27. »			

Im Mittel fällt demnach der kälteſte Tag auf den 14. Jänner, der wärmſte auf den 26. Juli.

157. Da die mittlere Temperatur einiger Monate unter dem Jahresmittel liegt, die der anderen Monate aber das Jahresmittel überſchreitet, ſo muß es auch im Laufe eines Jahres Monate geben, deren Temperatur dem Jahresmittel ſehr nahe kommt. Nach Erman ereignet ſich unter dem Aequator die mittlere Jahres-Temperatur jährlich viermal und zwar am 5. März, am 5. Juni, am 7. October und am 6 — 7. December. Nach v. Humboldt ſtimmt das Monatmittel vom April und October mit dem Jahresmittel ſehr nahe überein, noch näher kommt demſelben nach Kämtz der Durchſchnitt der Monate April und October. Uebrigens iſt das jährliche Mittel für jeden Ort nahe eine conſtante, höchſtens um 1 — 2° C. veränderliche Größe.

Kämtz (Schweigg. J. 55. 375) hat für mehrere Orte aus einer großen Anzahl daſelbſt angeſtellter Temperaturbeobachtungen die Tage ausgemittelt, deren mittlere Temperatur zugleich die mittlere Jahrestemperatur ausdrückt und folgende Reſultate gefunden:

Enontekis:	28. April,	22. Oct.	Padua:	20. April,	15. Oct.
Chriſtiania:	2. Mai,	14. »	Rom:	1. Mai,	24. »
Upſala:	22. April,	18. »	Capſtadt:	19. April,	21. »
Fort Sullivan:	26. »	26. »	Fort Johnſton:	21. »	18. »
Mancheſter:	27. »	23. »	Abusheher:	23. »	22. »
Turin:	18. »	26. »			

Man kann den 24. April und 21. October als jene Tage anſehen, deren Temperatur der mittleren Jahreswärme gleich kommt.

158. Der ſo ſehr ungleiche Gang der Wärme in verſchiedenen geographiſchen Breiten rührt von der durch die Schiefe der Ekliptik bedingten ungleichen Einwirkung der Sonne her. Man kann in dieſer Beziehung in der nördlichen ſowohl als in der ſüdlichen Halbkugel drei Zonen annehmen, in deren jeder dieſer Gang einen beſonderen Charakter hat, wo demnach von den anderen ganz verſchiedene Wärmeverhältniſſe Statt finden. Dieſe Zonen ſind 1) die zwiſchen dem Aequator

und einem Wendekreiſe, 2) die zwiſchen einem Wendekreiſe und einem Polarkreiſe, 3) die zwiſchen einem Polarkreiſe und dem entſprechenden Pole. Man nennt die erſten die heißen, die zweiten die gemäßigten, die dritte die kalten Zonen. Da die zwei heißen an einander grenzen, ſo werden ſie meiſtens von den Geographen für eine einzige angenommen, die ſich demnach von einem Wendekreis zum andern erſtreckt, und man hat ſonach fünf Zonen, nämlich eine heiße, zwei gemäßigte und zwei kalte. Die heiße Zone begreift 0.398, die gemäßigten umfaſſen 0.520, die kalten 0.082 der ganzen Erdoberfläche. Uebrigens darf man nicht vergeſſen, daß dieſe Zonen den ihnen beigelegten Namen nur in ſo ferne treu bleiben, als die Wärmeverhältniſſe bloß von dem Stande der Sonne abhängen, daß aber phyſiſche Localverhältniſſe oft ſtarke Ausnahmen begründen. So z. B. findet man auch in der heißen Zone mit ewigem Schnee bedeckte Berge.

159. In jeder der beiden heißen Zonen ſteht die Sonne wenigſtens einmal im Jahre zu Mittag im Zenith und ſelbſt an der äußerſten Grenze derſelben beträgt die kleinſte Mittagshöhe noch 43°, während dieſe unter dem Aequator ſich auf 66½ beläuft. An der gemeinſchaftlichen Grenze der beiden Zonen, am Aequator, ſind Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch gleich, an den äußerſten Grenzen hat der längſte Tag nahe 13½ St., der kürzeſte nahe 10½ St. In beiden Zonen bis zu den Wendekreiſen hat man die Sonne zu Mittag einen Theil des Jahres nördlich, einen andern ſüdlich vom Zenith und der Mittagſchatten fällt darum bald nach Süden bald nach Norden. Die mittlere Temperatur wird unter dem Aequator und an den Küſten größerer Continente; an der Meeresfläche, wo dieſe Größe noch am meiſten ein Ausdruck der Einwirkung der Sonne und von andern Verhältniſſen unabhängig iſt, mit 27°74 angegeben. Im Inneren größerer Continente iſt ſie etwas größer, mitten über dem Meere etwas kleiner. An den beiden äußerſten Grenzen wechſelt ſie an der Meeresfläche und an den Küſten zwiſchen 21½ und 25°.

In dieſen Zonen zerfällt das ganze Jahr in zwei Jahreszeiten, die ſogenannte trockene Zeit und in die Regenzeit. So lange die Sonne vom Parallelkreiſe des betreffenden Ortes entfernt iſt, herrſcht heiterer Himmel, trockene Luft und die Vegetation leidet daſelbſt oft eben ſo, wie bei uns durch den kalten Hauch unſeres Herbſtes. Sobald aber die Sonne dem Zenith näher rückt, verliert die Luft ihre ſonſt für die heiße Zone ſo charakteriſtiſche dunkle Farbe, es ſtellen ſich Nebel ein, am Horizont zeigt ſich Gewölke, der Wind ſchlägt um, und ſo rückt ſchnell die tropiſche Regenzeit heran. Da regnet es zwar nicht ununterbrochen, ſondern es geht die Sonne faſt täglich heiter ſowohl auf als unter, es gibt aber doch während dieſer ganzen Zeit wenige ganz regenloſe Tage Unter dem Aequator finden im Jahre zwei Regenzeiten Statt, an den Wendekreiſen nur eine, zwiſchen beiden Grenzen geht die zweifache Regenzeit allmälig in die einfache über.

Im amerikaniſchen Binnenlande von 4 — 10° n. Br. herrſcht vom December bis Februar vollkommen heiterer Himmel, gegen Anfang März wird die Farbe des Firmamentes lichter, es ſammeln ſich Wolken in SSO. und gegen Ende März beginnt die Regenzeit. In Darwar fängt der Regen im Juni oder im Anfange Juli an; in Afrika unter dem Aequator bis zur Goldküſte fällt der Anfang der Regenzeit auf Mitte März, von Sierra Leone bis Cap Cephalonia auf Mitte April, an der Küſte von Guinea auf den April oder Mai, tiefer im Lande auf den Mai oder Juni, und endlich im Flußgebiete des Gambia und Senegal auf den Juni oder Juli. Nach Rußegger's handſchriftlichen Mittheilungen theilen ſich im Inneren Afrika's die Trocken- und Regenzeit gleichmäßig in das ganze Jahr, und jede derſelben umfaßt nahe 6 Monate. Die Regenzeit ſüdlich vom Aequator iſt eine Fortſetzung des ſüdlichen Winters, und umfaßt die Monate October bis April; am Aequator beginnt ſie mit Ende December oder Anfangs Jänner. Im Jänner traf ſie Rußegger ſchon in 10° 16′ n. Breite, mit Eintritt Februar im 11° und erſt im Mai im 15° Br., ſie dauert daſelbſt bis Oktober. Sie erſtreckt ſich nur bis 16° Br. Ueber dieſen Breitegrad hinaus (bis zum 18°) reichen nur Regenſtürme, die aber nicht mehr ſo regelmäßig, ja nicht einmal alljährlich eintreten. Ueber den 18° Breitegrad hinaus hören die periodiſchen Regen ganz auf, und es ſind Regen überhaupt in den Wüſten von Nubien und Oberägypten nur als Seltenheit zu betrachten, und dieſe fallen in die Periode unſeres Winters.

160. Die gemäßigten Zonen haben an der dem Aequator nächſten Grenze Sonnenhöhe und Tagesdauer wie dieſes bei den heißen Zonen, mit denen ſie dieſe Grenze gemein haben, angegeben worden iſt. An der anderen Grenze iſt die höchſte Sonnenhöhe 47°, die kleinſte 0° und der längſte Tag dauert 24 Stunden. Man hat alſo daſelbſt im Jahre um einen Sonnen-Auf- und Untergang weniger als an anderen Stellen der gemäßigten Zone oder im heißen Erdgürtel. Die Mittagsſonne ſteht in der nördlichen Zone immer gegen Süden, in der ſüdlichen immer gegen Norden vom Zenith und der Mittagsſchatten ſteht in erſterer immer nach Norden, in letzterer immer nach Süden. Die mittlere Jahreswärme iſt an der Meeresfläche und an den Küſten an der einen Grenze 21½°, an der anderen ſinkt ſie bis 0°. Die Länder dieſer Zone haben vier Jahrszeiten: Frühling, Sommer, Herbſt und Winter, deren Anfang aber nicht überall mit dem Eintritte der gleichnamigen aſtronomiſchen Jahrszeiten Statt hat. Bei uns kann man die Monate December, Jänner, Februar als Wintermonate, März, April, Mai als Frühlings-, Juni, Juli, Auguſt als Sommer- und September, Oktober, November als Herbſtmonate anſehen, weil in der That in den mittleren Monat der erſteren Jahreszeit die größte Kälte, in den mittleren Monat der letzteren Jahrszeit die größte Hitze fällt. Doch haben dieſe Jahrszeiten nur im mittleren Strich dieſer Zone den normalen Charakter, näher gegen die heiße und die kalte Zone hin verlieren ſie ihn allmälig. Länder, welche der heißen Zone nahe liegen, kennen keine rauhen Winter, der die Fluren tödtet, ſondern nur Tage, wie wir ſie im Frühlinge oder Herbſte erleben, das Entblättern und Belauben der Bäume trennt

nur eine ſehr kurze Friſt. Je weiter man ſich von der Grenze der heißen Zone in die gemäßigte hinein entfernt, deſto gleichmäßiger theilen ſich die vier Jahreszeiten in das ganze Jahr, bis bei weiterer Annäherung an die Grenze des kalten Erdgürtels der Winter die Oberhand gewinnt und einen Theil des Frühlings und Herbſtes verſchlingt. Es erreicht zwar daſelbſt der Sommer wegen der langen Dauer der Tage eine außerordentliche Hitze, ſo daß Pflanzen, die bei uns kaum in drei Monaten vom Keimen bis zur Reife gebracht werden können, hier dazu nur etwa 6 Wochen brauchen; dafür iſt dieſe Zeit nur kurz und der ſchnell einbrechende Winter ſo heftig, daß die meiſten Flüſſigkeiten gefrieren, der Athem zu Reif erſtarrt, alle Vegetation erſtirbt und nur wenige Thiere ſo wie der überall ausdauernde Menſch, Thätigkeit und Leben beurkunden.

161. In der kalten Zone iſt die größte Sonnenhöhe, in der günſtigſten Lage unter dem Polarkreiſe nur 47° und der längſte Tag hat 24 Stunden; am Pole aber theilt ſich das ganze Jahr in einen Tag und eine Nacht. Da zerfällt das Jahr in einen flüchtigen Sommer und in einen langen Winter. Die an der Grenze des gemäßigten Erdgürtels befindlichen Länder nehmen zwar noch etwas an den günſtigeren Verhältniſſen des letzteren Theil, aber weiter davon kann die Sonne ſelbſt bei der langen Dauer der Tage wegen ihrer geringen Höhe, wegen der häufigen Nebel und der Dicke und Dichte der Luftſchichten, welche die ſchief einfallenden Strahlen durchwandern müſſen, bevor ſie den Boden treffen, keine namhafte Erwärmung mehr hervorrufen, um ſo mehr, als die meiſte Wärme zum Schmelzen des Eiſes verwendet wird. Ueber 70° nördlicher Breite hinaus ſteigt das Thermometer ſelbſt im Sommer ſelten über den Eispunct und über 79° — 80° nördlicher Breite ſchmilzt der Schnee gar nicht mehr weg.

162. Wäre die Oberfläche der Erde überall von gleicher materieller Beſchaffenheit, ohne' Erhöhungen und beſäße ſie eine ganz reine, im Gleichgewichte befindliche Atmoſphäre; ſo würden die Aenderungen der Wärme ganz von der Einwirkung der Sonne abhängen und man könnte den mittleren Wärmegrad jedes Ortes vorhinein durch Rechnung finden (er wäre dem Quadrate des Coſinus der Breite proportionirt). Allein die Erde iſt nicht an allen Stellen gleich geeignet, durch die Sonnenſtrahlen erwärmt zu werden, ſie hat Erhöhungen, wo die Abkühlung raſcher vor ſich geht als in Ebenen, ihre Atmoſphäre iſt häufigen Trübungen ausgeſetzt, durch welche die Einwirkung der Strahlen auf die Erde, als dem eigentlichen Sitz der Wärmeentwicklung, verhindert wird, und ſie unterliegt Bewegungen, welche die Wärme eines Ortes einem andern zuführen. Alles dieſes macht die Wärmeentwicklung ſo ſehr von Localverhältniſſen abhängig, daß man auf eine Beſtimmung derſelben ohne Beobachtung gänzlich verzichten muß und ſie nur aus Erfahrungen ableiten kann.

163. Große Continente, wie z. B. das aſiatiſche und afrikaniſche Feſtland, haben wärmere Sommer, kältere Winter und über-

haupt größeren Temperaturwechſel als Inſeln und Küſtenländer, weil das Land die Wärmeſtrahlen, welche die Sonne dahin gelangen läßt, reichlicher abſorbirt, ſich ſchneller und mehr erwärmt, aber auch ſchneller abkühlt, als Waſſer. Man kann das Klima eines großen Continentes ein exceſſives nennen. Es iſt aber ſelbſt die Richtung der größeren Ausdehnung eines Landes von Einfluß auf deſſen Wärmeverhältniſſe. Länder der gemäßigten Zone erlangen günſtigere Verhaltniſſe dieſer Art, wenn ſie ſich in den heißen Erdgürtel hinein erſtrecken, hingegen ungünſtige, wenn ſie bis zu den Polargegenden hinauf reichen. Die ſich weit in das Eismeer hinein erſtreckenden Welttheile Aſien und Amerika ſind darum kälter als Europa und der afrikaniſche Continent iſt heißer als Aſien in gleicher Breite.

Wüſten, deren Boden trocken, ſteinig und pflanzenleer iſt, wie z. B. die Sahara, die lybiſche Wüſte, haben eine unerträgliche Tageshitze und dabei doch kalte Nächte, weil ſie ein großes Abſorptionsvermögen für Wärme haben und keine Wärme zur Dunſtbildung brauchen, ſonſt aber gute Wärmeleiter ſind. Das vegetationsreiche Oſtflorida und das ſüdliche waldige Negerland Afrika's ſind ungeachtet der Nähe des Aequators ſehr anmuthig.

Küſtenländer, Inſeln, das Meer ſelbſt haben gemäßigte Sommer und Winter und überhaupt geringe Temperaturwechſel. Waſſer abſorbirt wenig Wärmeſtrahlen und erwärmt ſich daher nicht ſo ſehr wie feſtes Land, braucht einen Theil der Wärme zur Dunſterzeugung und erlangt darum keine hohe Temperatur; allein es gibt die einmal aufgenommene Wärme ſchwer ab und erkaltet auch noch aus dem Grunde ſehr langſam, weil die oberen Schichten, wenn ſie durch Abkühlung dichter geworden ſind, zu Boden ſinken, wärmere an deren Stelle treten und nach der Abkühlung wieder andern Platz machen, ſomit ſich die Erkaltung auf eine große Maſſe erſtreckt und demnach nicht ſo viele Grade betragen kann. Das von Binnenmeeren und Meerbuſen vielfach durchſchnittene Europa hat mehr den Charakter eines See- als eines Continental-Klimas; Italien, Griechenland, ſo wie das küſtenreiche Indien verdanken denſelben Umſtänden die Gunſt ihres Klimas. Die ſüdliche Halbkugel hat ſchon darum eine minder hohe Temperatur, weil ſie weniger Land enthält als die nördliche. Grenzen zwei Länder an einander, deren eines ein See-, das andere ein Continental-Klima hat, und ſind ſie von einander durch Gebirge getrennt, ſo wird das Land mit dem Seeklima einen milderen Winter haben als wenn es gegen das Nachbarland offen wäre, weil die kalten, niedrig gehenden Winde durch das Gebirge abgehalten werden, die heißen höher ziehenden Sommerwinde des Nachbarlandes aber die Gebirge überſteigen und ſomit wird das Seeklima von dem benachbarten Continentalklima nur die günſtige, nicht aber die ungünſtige Einwirkung erfahren. Europa iſt durch das Uralgebirge vor den kalten Nord-Oſtwinden geſchützt und überdieß noch den warmen afrikaniſchen Winden zugängig, mithin aus beiden Gründen wärmer als Aſien oder Amerika in gleicher Breite.

Nur ⅛ des ganzen Umfanges des Erdäquators fällt auf feſtes Land und von dieſem kommen auf Afrika 0.461, auf Amerika 0.301, auf Aſien 0.114 und auf Auſtralien 0.121; es fällt daher der größere Theil des tropiſchen Continents in die Länder der alten Welt und gerade Europa befindet ſich in jenem Theile deſſelben, der ſich in der heißen Zone am meiſten ausbreitet. Sehr auffallende Verſchiedenheiten zeigen einzelne geographiſch gleich, aber phyſiſch ungleich gelegene Oerter. So liegen z. B. Amſterdam und Warſchau, ferner Kopenhagen und Kaſan nahe in demſelben Parallelkreiſe und haben doch ſo verſchiedene Temperatur. Peking hat einen Sommer wie Neapel und einen Winter wie Kopenhagen; Kaſan hat während eines Theiles des Frühlings und Sommers dieſelbe Temperatur wie Paris, wiewohl es um 7° nördlicher liegt. Während die mittlere Wärme des Feſtlandes in der Aequatorialzone 27°.7 beträgt, iſt jene des Meeres ebendaſelbſt 25°.5. Das Meer erreicht dort ſelten 28°, und nie ſah man die Meerestemperatur über 31°, die Luft über dem Meere hat nur ſelten 29° und vielleicht nie 32°. Der Boden der heißen Zone nimmt während des Tages ſogar 52°.5 an, und den weißen Granitſand an den Waſſerfällen des Orinoco fand Humboldt 60°.3 heiß, während die Luft 29°.6 hatte. Monate lang iſt die mittlere Lufttemperatur in den Tropenländern 26°.5 — 35°, über dem tropiſchen Meere 23 — 27°; in Madras, Pondicheri, Oberägypten ſteigt die Wärme der Luft auf 40 — 46°.8 C.

164. Ein Berg wird von der Sonne weniger erwärmt als flaches Land, weil immer ein Theil davon im Schatten liegt. Dagegen bietet er der erkaltenden Luft eine größere Oberfläche dar, als flaches Land an jener Stelle und ſomit wirken die Quelle der Erwärmung ſchwächer, die Urſachen der Erkältung ſtärker. Etwas ähnliches, jedoch in minderem Grade tritt bei einer Hochebene ein. Dazu kommt noch, daß die umgebende Luft aus ſpäter zu erwähnenden Gründen kälter iſt, als die in den unteren Regionen, welche das flache Land berührt, auch iſt ſie dünner und der Wärmeausſtrahlung günſtiger und ſomit iſt es nicht zu verwundern, daß ſowohl die Tages- als Jahrestemperatur in hoch gelegenen Orten geringer iſt und zwar deſto geringer, je höher ein Ort liegt. Auch die jährlichen und täglichen Schwankungen der Temperatur ſind in hoch gelegenen Orten von denen an der Meeresfläche oder in Niederungen verſchieden, und zwar auf Bergen geringer, in Hochebenen größer als in der Tiefe. Unter ſolchen Umſtänden iſt es klar, daß es in jeder geographiſchen Breite eine Höhe geben könne, wo die Sonnenwärme nicht mehr im Stande iſt, den im Winter angehäuften Schnee zu ſchmelzen. Man nennt ſie die Schneegrenze. Sie liegt natürlicher Weiſe deſto höher, je näher ein Ort dem Aequator liegt: unter den Polen iſt ſie = 0, am Aequator hingegen = 2460 Toiſen, bei uns beiläufig 1300 F. Man darf aber nicht glauben, daß die Schneegrenze zugleich jene Höhe bezeichnet, wo die mittlere Temperatur = 0 iſt. Sie richtet ſich mehr nach der Sonnenhitze als nach der mittleren Wärme und wird überdieß durch eine Menge Nebenumſtände, z. B. durch die Ausdehnung der hohen Stelle, durch die Temperatur der Umgebung, die Luftfeuchtigkeit, Schneemenge u. ſ. w. beſtimmt.

Die Höhe, in welcher die Jahrestemperatur um 1 abnimmt, iſt verſchieden nach Maßgabe der geogr. Breite, anders auf Landhöhen als auf iſolirten Bergen oder Gebirgszügen und wechſelt endlich ſogar mit der Jahreszeit. Man kann annehmen, daß man in den Alpen durchſchnittlich nur um 100 Toiſen, in den ſüdamerikaniſchen Gebirgen um 96 Toiſen, auf den dortigen Plateaus hingegen um 80 Toiſen ſteigen müßte, um in eine nur 1° C. niedrigere Temperatur zu kommen.

Die Höhe der mittleren Schneegrenze iſt in den Cordilleras von Quito (1 — 1°¹/₂ ſüdl. Br.) = 2460 Toiſen; von Mexico (19 — 19°¹/₄ n. Br.) = 2350 T.; im nördlichen Abhange des Himalaya-Gebirges 30³/₄ — 31° nördl Br.) = 2600, im ſüdlichen Abhange = 1950 T.; am Kaukaſus (42¹/₂ — 43° nördl. Br.) = 1650 T; in den Pyrenäen (42¹/₂ — 43) = 1400 T; in den Alpen (45¹/₄ — 46) = 1370: in den Karpathen (49 — 49¹/₄) = 1330 T.: im Altai (49 — 51) = 1000 T.; im Innern von Norwegen (61 — 67°) = 600 T.; an den Küſten 71¹/₄ — 71¹/₂°) = 366 T. In den Tropenländern iſt die mittlere Lufttemperatur der Schneegrenze + 1°.5, in Norwegen von 60—70° Breite = — 6°.

Nach d'Aubuiſſon iſt die Erhöhung für eine Wärmeabnahme von 1°, zu Genf und auf dem Bernhardsberge für die einzelnen Monate in Metern, wie folgt: Jänner 221, Feb. 214, März 219, April 211, Mai 222, Juni 210, Juli 142, Auguſt 149, Sept. 164, Okt. 241, Nov. 201, Dec. 246; im Mittel 203 M. = 626 P. F. Sauſſure fand auf dem Col de Géant folgende Werthe in Metern zu verſchiedenen Stunden: Mittags 148, 2 Uhr 140, 4 U. 142, 6 U. 141, 8 U. 143, 10 U. 157, 12 U. 171, 14 U. 189, 16 U. 210, 18 U. 195, 20 U. 180, 22 U. 160, im Mittel 165 M. = 509 P. F. Aus einer 20jährigen Reihe von Beobachtungen, die man gleichzeitig auf dem St. Bernhard und in Genf angeſtellt hat, ergab ſich, daß durchſchnittlich einer Höhendifferenz von 753 P F. ein Temperaturunterſchied von 8°.54 R. entſpreche. A. Humboldt hat unter dem Aequator in Südamerika für eine Erhebung von 2500 T. eine Temperaturabnahme von 26° C. bemerkt.

165. Die Vertheilung der Wärme auf der Erde, wie ſie ſich aus der Einwirkung der Sonne und durch den Einfluß der eben erwähnten Localverhältniſſe an der Meeresfläche ergibt, wird am beſten erſichtlich, wenn man die Orte von gleicher mittlerer Temperatur durch Linien verbindet, welche man iſothermiſche Linien nennt. Fig. 396 ſtellt dieſe Linien für die nördliche Halbkugel dar. Man entnimmt daraus folgende Geſetze: Die der höchſten Temperatur entſprechende Iſotherme iſt die des Aequators. Sie entſpricht, wie ſchon früher angeführt worden, an den Küſten der größeren Continente 27°.74 C.; im Inneren großer Länder iſt die Wärme etwas größer, mitten im Ocean etwas kleiner. Die Iſotherme von 25° verläßt die Weſtküſte Amerika's nördlich von Acapulco, geht durch Cuba, tritt, nachdem ſie etwas nach Süden hinabgeſtiegen iſt, nördlich von den Inſeln des grünen Vorgebirges in Afrika ein, hebt ſich an der Weſtküſte Afrika's nach Norden und ſchneidet die aſiatiſche Oſtküſte weſtlich von der Inſel Luſſon. Die Iſotherme von 20° geht durch Californien, ſchnei-

det die Weſtküſte Europas zwiſchen Madeira und den canariſchen Inſeln, läuft zwiſchen Creta und der Küſte Aegyptens fort und verläßt Aſien in der chineſiſchen Provinz Tſche-kiang. Die Iſotherme von 15° geht durch Neu Calefornien gegen die Azoren und erreicht Europa an der Grenze von Spanien und Portugal, zieht ſich dann durch den römiſchen Staat, geht durch das caſpiſche Meer, ſenkt ſich hierauf nach Süden und erreicht Aſiens Oſtküſte in der Inſel Niphon. Die Iſotherme von 10° geht von der Weſtküſte Amerika's in New Albion nach Neu York, hebt ſich da nördlich und erreicht ihre größte Breite bei London, lauft von da bei Frankfurt und Wien vorbei gegen Aſtrachan und erreicht in der Wüſte Schamo ihren ſüdlichſten Scheitel. Die Iſotherme von 5° verläßt Amerika bei Halifax, erreicht Drontheim in Norwegen und ſenkt ſich dann gegen Riga und Moskau, hat bei Kiachta ihren ſüdlichſten Scheitel und tritt im ſüdlichen Theile von Kamtſchatka in den großen Ocean ein. Die Iſotherme von 0° ſenkt ſich im amerikaniſchen Continente ſtark nach Süden, ſteigt aber beim Austritte aus demſelben nördlich von Neu-Foundland gegen Island bis zum nördlichen Theile von Norwegen, worauf ſie aber ſchnell abwärts geht und im aſiatiſchen Continente die Oſtküſte am nördlichen Theile von Kamtſchatka zu erreichen ſcheint. Verzeichnet man die iſothermiſchen Linien nach einer Polarprojection wie aus Fig. 397 zu erſehen iſt, ſo erkennt man deutlich, daß es zwei Puncte der Erdoberfläche gebe, wo die Temperatur im Verhältniſſe zur geogr. Breite am geringſten iſt. Man kann ſie Kältepole nennen. Einer derſelben liegt nördlich vom amerikaniſchen, der andere nördlich vom aſiatiſchen Feſtlande. Da die Temperatur von unten nach oben eben ſo abnimmt, wie vom Aequator gegen die Pole, ſo wird ſelbſt am Aequator jeder Höhe eine mittlere Temperatur entſprechen müſſen, wie ſie in einer beſtimmten Breite vorkommt. Fig. 398 zeigt die Iſothermen dieſer Art.

166. Außer dem Jahresmittel der Temperatur verdient noch die mittlere Wärme des heißeſten und kälteſten Monats oder der heißeſten und kälteſten Jahreszeit und der einzelnen Jahreszeiten eine beſondere Berückſichtigung, weil dieſe zur Vervollſtändigung des Bildes über den Gang der Wärme dienen und überdieß von dieſen Größen es hauptſächlich abhängt, welche Gewächſe in einem Himmelsſtriche die zu ihrem Gedeihen nöthige Wärme finden oder im Freien aushalten. Vorzüglich ſind die Wärme des Sommers und die Kälte des Winters in letzterer Beziehung beachtenswerth. Man hat, um hierin eine Ueberſicht zu erlangen, eben ſo die Orte von gleicher Sommerhitze und die von gleicher Winterkälte mit einander durch Linien verbunden, wie man dieſes nach (165) mit den Stellen gleicher Jahresmittel gethan hat, und nennt die Linien gleicher Sommerwärme iſotheriſche, die von gleicher Winterkälte iſochimeniſche Linien. Fig. 399 ſtellt dieſe Linien dar und zwar ſind die ausgezogenen Linien die iſochimeniſchen, die punctirten die iſotheriſchen. Vergleicht man dieſe Figur mit Fig. 396, ſo überzeugt man ſich, daß gerade in der Nähe der con-

caven Gipfel der Iſothermen auch die Unterſchiede zwiſchen der mittleren Sommer und Winter-Temperatur am kleinſten iſt. Sonſt iſt auch aus dieſer Tafel erſichtlich, daß jede Gattung Linien einen eigenen Gang befolgt und daß ſie weder unter ſich noch mit den Parallelkreiſen gleichlaufend ſind. So z. B. geht die Iſothere von 20° von der Mündung der Garonne über Straßburg, Würzburg nach Böhmen, die Ukraine, dem Lande der doniſchen Koſaken, zieht an der Nordſeite des kaſpiſchen Meeres vorbei, und doch gehört die Weſtküſte von Frankreich zur Iſochimene von 5°, Böhmen zu 0°, Ukraine zu — 5°; etwas nördlich vom kaſpiſchen Meere geht die Iſochimene von —10° vorüber.

Die nachſtehende Tabelle gibt von vielen Stellen die mittlere Temperatur des Jahres, des Sommers und Winters und des heißeſten und kälteſten Monats an:

Name des Ortes.	Geogr. Breite.		Höhe über dem Meere. Meter.	Temperatur des				
				Jahres.	Winters.	Sommers.	kälteſten Monats.	wärmſt. Monats.
Cumana . . .	10°	28′	—	27.4	27.0	28.1	26.9	29.2
Calcutta . . .	22	35	—	28.5	19.9	28.5	18.4	29.9
Macao . . .	22	11	—	22.5	16.4	28.3	14.5	28.6
Havana . . .	23	9	—	25.0	22.6	27.4	21.9	27.5
Canton . . .	23	8	—	21.6	13.7	28.2	13.3	28.5
Algier	36	47	—	17.8	12.4	23.6	14.5	24.7
Palermo . . .	38	7	55	17.2	11.4	23.5	10.7	24.6
Liſſabon . . .	38	42	72	16.4	11.3	21.7	11.2	22.3
Neapel . . .	40	51	55	16.5	9.8	23.6	9 2	24.5
Quito . . .	0	14	2914	15.6	15.4	15.6	14.8	16.3
Santa Fe de Bogota . . .	4	36	2631	15.0	15.1	15.3	14.0	16.1
Avignon . . .	43	57	—	14.4	5.8	23.1	4.8	23 8
Rom	41	54	53	15.4	8.1	22.9	7.2	23.9
Marſeille . .	43	18	45	14.1	6.9	21 4	5.2	22.8
Bordeaux . .	44	50	—	13.9	6.1	21.7	5.0	22.9
Conſtantinopel .	41	0	—	13.7	4.8	23.0	—	—
Venedig . . .	45	26	—	13.7	3.3	22.8	1.8	23.9
Padua . . .	45	24	—	12.5	2.8	21.9	1.8	22.9
Baltimore . .	39	17	..	11.6	0.4	23.1	—0.6	24.0
La Rochelle . .	46	9	—	11.6	4.2	19.4	2 9	20.2
Plymouth . .	50	22	—	11.1	6.9	16.0	5.9	16.6
Paris	48	50	64	10.8	3.3	18.1	1.6	18.9
London . . .	51	31	—	10.4	4.2	17.1	3.0	17.8
Mannheim . .	49	29	92	10.3	1.5	19.5	0.9	20.2
Brüſſel . . .	50	51	58	10.2	2.5	18.2	1.2	18 8
Wien	48	13	156	10.1	0.2	20.3	—1.	20.7
Trier	49	46	156	10.0	1.9	17.8	0.0	18.7
Straßburg . .	48	35	146	9.8	1.1	18.1	—0.4	18.8

Name des Ortes.	Geogr. Breite.	Höhe über dem Meere. Meter.	Temperatur des				
			Jahres	Winters.	Sommers.	kälteſten Monats.	wärmſt. Monats.
Frankfurt a. M	50° 7′	117	9.8	1.2	18.3	— 0.4	18.9
Genf	46 12	396	9.7	1.2	17.9	— 0.4	18.6
Prag	50 5	191	9.5	— 0.4	18.9	— 2.4	20.2
Dublin . . .	53 23	—	9.5	4.6	15.3	0.7	17.4
Boſton . . .	42 21	—	9.5	— 1.6	20.5	— 3.3	21.8
Göttingen . .	51 32	132	9.1	0.6	17.6	—	—
Innsbruck . .	47 16	526	9.0	— 1.0	18.3	— 3.8	18.4
München . . .	48 3	536	8.9	— 0.4	17.4	— 1.5	18.0
Halle	51 31	111	8.8	0.0	17.5	— 2.3	19.2
Mancheſter . .	53 29	47	8.7	2.8	14.8	— 21.	15.2
Berlin . . .	52 31	39	8.6	— 0.8	17.3	— 2.4	18.0
Hamburg . .	53 33	—	8.6	0.3	17.0	— 1.3	17.5
Edinburg . .	55 57	0	8.6	3.6	14.4	2.9	15.0
Dresden . . .	51 3	121	8.5	— 0.4	17.2	— 2.0	18.0
Apenrode . .	55 3	—	8.3	0.6	16.2	— 0.4	16.9
Copenhagen . .	55 41	—	8.2	— 0.4	17.2	— 1.4	18.2
Breslau . . .	51 4	140	8.1	— 1.0	17.3	— 1.5	19.1
Augsburg . .	48 22	493	7.9	— 0.7	16.6	— 3.8	17.5
Danzig . . .	54 21	. . .	7.6	— 1.2	16.4	— 2.6	17.5
Warſchau . .	52 13	121	7.5	— 2.5	17.5	— 4.0	18.2
Tabor . . .	49 24	429	7.3	— 2.7	16.9	— 4.6	18.0
Gotha . . .	50 57	308	7.3	— 1.3	15.5	— 3.2	16.8
Freiburg . .	50 55	403	7.2	— 1.7	15.9	— 3.2	16.4
Lead-Hills . .	55 25	390	6.6	0.2	13.1	— 0.2	14.0
Montreal . .	45 31	. . .	6.5	— 8.1	20.6	— 9.7	21.7
Wilna . . .	54 41	117	6.3	— 4.6	17.6	— 5.9	21.7
Halifax . . .	44 39	—	6.2	2.9	17.2	— 5.2	19.2
Königsberg . .	54 43	—	6.2	— 3.3	15.9	— 4.2	17.0
Chriſtiania . .	59 54	—	5.4	— 3.8	15.3	— 4.8	16.5
Moskau . . .	55 45	146	3.6	—10.3	16.8	—10.6	17.6
St. Petersburg	59 56	—	3.5	— 8.4	15.7	—10.3	16.9
Nord-Cap . .	71 10	—	0.1	— 4.6	6.4	— 5.5	8.1
Irkuzk . . .	52 16	409	— 0.2	—17.6	15.9	—19.5	17.5
Slatouſt . . .	55 8	322	— 0.7	—16.6	15.2	—18.0	15.8
St. Bernhard .	45 50	4843	— 1.0	— 7.8	6.1	— 8.7	6.8
Caſerio (Aetna)	37 6	2990	— 1.3	— 8.6	6.6	—17.8	14.5
Enontekis . .	68 40	435	— 2.7	—17.0	12.6	—17.8	14.5
Jakutz . . .	62 1	117	— 9.7	—38.9	17.2	—40.5	20.3
Boothia-Felix .	70 2	—	—15.7	—33.2	3.4	—35.6	5.1
Uſtjanski . . .	70 55	—	—16.6	—38.4	9.2	—40.3	13.7
Melville-Inſel .	74 47	—	—18.7	—33.5	2.8	—35.8	5.8

167. Es iſt für ſich klar, daß die mittleren Temperaturen des heißeſten und kälteſten Monates nicht die an einer Stelle vorkommenden Wärmeextreme bezeichnen und daß dieſe viel weiter aus einander liegen, als die beſagten Mittelwerthe. So z B. hat der heißeſte Mo=

nat in Wien nur die Mittelwärme von 20°.7, der kälteſte nur — 1°.6 und doch kommen daſelbſt alljährig im Winter Tage von — 12° und im Sommer von + 24° vor, ja am 8. Juli 1819 ſtieg (an der Sternwarte) das Thermometer auf 36°.9. In Neapel iſt die Wärme des kälteſten Monats 9° und doch fällt daſelbſt manchmal Schnee. Mailand hat zur Temperatur des kälteſten Monats 2°.4, aber am 7. December 1844 herrſchte daſelbſt eine Kälte von 9½°.

168. Die Verbindung zwiſchen der Jahreswärme und der Temperatur des Sommers und zwiſchen der Vegetation iſt ſo innig, daß man häufig von der Flora einer Gegend auf ihr Temperaturverhältniß ſchließen kann und umgekehrt; denn jede Pflanze fordert zum Reifen eine beſtimmte Sommerwärme und hält im Freien nur aus, wenn die Winterkälte nicht unter einen gewiſſen Grad ſinket.

Jede Pflanze fordert zum Gedeihen und Reifen ihrer Früchte eine beſtimmte Sommerwärme und mittlere Temperatur, und kommt daher nur dort fort, wo dieſe herrſcht. Ueberall, wo die Jahrestemperatur unter 17° ſteht, erwacht die Natur im Frühlinge in jenem Monate, deſſen Mittelwärme 6 — 8° beträgt; der Pfirſichbaum blüht in dem Monate, deſſen Mitteltemperatur 5½° iſt, der Pflaumenbaum, wenn ſie 8°.2 erreicht Die Birke kommt nur da fort, wo die mittlere Temperatur des wärmſten Monats nicht unter 11° ſteht und ſchlägt bei dieſer Monatswärme aus. Die Weintraube fordert zum Fortkommen eine mittlere Temperatur von 8°.7, die Kaſtanie 9°.3, die Olive 13°.1, die Pomeranze 17°, die Kaffeebohne 18°.1, der Zucker 23°.7. Auf der Reiſe von Rio de Guayaquil nach dem Chimboraſſo trifft man an der Fläche der Südſee bis zu einer Höhe von 2700 Fuß Palmen und Piſangs; Affen, Jaguare und bunte Papageien haben hier ihren Aufenthalt. Von da bis zu einer Höhe von 9000 P Fuß gedeihen die tropiſchen Eichen und Chinabäume, auch baumartige Farrenkräuter. Weiter aufwärts bis 12000 F. finden in kalten beſtändigen Nebeln noch die Escallonien und die Zimtwintern ſparſame Nahrung, aber auch dieſe hören auf, wenn man ſich weiter aufwärts begibt, und es treten nur kräuterartige Alpenpflanzen, mit feiner Wolle dicht bewachſen, an ihre Stelle, bis endlich bei einer Höhe von 14760 F. nur gelblich leuchtendes Gras, zuletzt gar nur kryptogamiſche Gewächſe den traurigen, halb nackten Boden bedecken, den außer wilden Lama's und dem Berglöwen wenige belebte Weſen beſuchen. Ueber dieſe Höhe hinaus, ſtarrt die Natur vom ewigen Eiſe. (Voyage de M. Alexander de Humboldt et Aimé Bonpland. 1. part. phys. générale. Paris et Tübingen 1807.) Einen ähnlichen Wechſel der Vegetation bemerkte Buch (deſſen Reiſe nach Norwegen und Schweden. Berlin 1810) in den Alpen unter einer Breite von 45°.25—46°.5, und in Norwegen unter einer Breite von 70°. Er gibt folgende Grenzen an:

Für die Alpen.		Für Norwegen.	
	In P. F. Höhe.		In P F. Höhe.
Weinbaugrenze . . .	2432	Grenze der Fichten .	730
Nußbaumgrenze . .	4564	» » Birken .	1483
Kirſchbaumgrenze . .	4164	» » Heidelbeeren	1980
Buchengrenze . . .	4815	» » salix myrsinit	2019
Alpenroſe	6840	» » Zwergbirken	2576
Schneegrenze . . .	8540	Schneegrenze . . .	3300

Wahlenberg theilt Lappland nach dem Wechſel der Vegetabilien und des Klima's in fünf Regionen ein: 1) In die Fichtenregion, welche bis 3200 P. F. unter die Schneegrenze reicht. Hier ſteht das Thermometer im Mittel auf + 2° C., unten wächſt noch Gerſte, oben nur mit Noth. 2) Kieferregion, welche ſich etwa 3000 Fuß unter die Schneegrenze erſtreckt. Hier beträgt die mittlere Temperatur 1.8 C., es reifet kein Korn mehr, und nur unten lohnen Kartoffeln und Rüben den Anbau. 3) Birkenregion bis 2000 Fuß unter der Schneegrenze. Die mittlere Wärme beträgt 1.4 C.; oben kommt auch die Birke nur verkrüppelt vor. 4) Niedere Alpenregion 1400 F. unter der Schneegrenze. Hier ſchmilzt der Schnee kaum vor Ende Juli, es wachſen nur Zwergbirken und Salix myrsinites; die mittlere Wärme iſt 1° C. 5) Die hohe Alpenregion, wo an vielen Stellen der Schnee gar nicht wegſchmilzt, nur Alpenkräuter mehr wachſen, und die kein Lappe mit ſeinem Zelte überſchreitet (Wahlenberg, flora Lapponica. Berol. 1812. Gilb. Ann. 41. 233.)

169. Was bisher von Temperaturen geſprochen wurde, bezog ſich auf die der Erde nächſten Luftſchichten. Die höher von der Erde entfernteren Schichten haben durchaus eine geringere Temperatur, als die unteren, indem ſie ihre Wärme nur von unten erhalten und ſelbſt die warmen aufſteigenden Ströme durch ihre Ausdehnung eine Temperaturverminderung erleiden. Das Geſetz der Wärmeabnahme nach aufwärts in der freien Luft ſtimmt mit jenem auf Gebirgszügen oder Hochebenen nicht überein, welches auch ganz natürlich iſt, da eine in der freien Luft hoch ſchwebende Schichte weiter vom Erdboden, als ihrer eigentlichen Erwärmungsquelle entfernt iſt, als die vom Erdmittelpuncte oder der Meeresfläche gleich entfernte Schichte über einem Berge oder einem Plateau. Da die verſchiedenen Luftſchichten im freien Luftraume mit den verſchiedenen Stellen eines an einem Ende erhitzten Metallſtabes bezüglich ihrer Temperatur große Aehnlichkeiten haben, ſo wendet man auch auf ſie das Geſetz an, nach welchem die Temperatur von der Wärmequelle verſchieden entfernter Stellen in einer geometriſchen Progreſſion abnimmt, wenn die Entfernungen von der Wärmequelle Glieder einer arithmetiſchen Progreſſion ſind. In den unſerer Forſchung zugängigen unteren Luftſchichten kann man auch ohne merklichen Fehler zu gleichen Erhöhungen gleiche Temperaturabnahmen gehörig annehmen. Eine Temperaturabnahme von 1° entſpricht da einer Erhöhung von 121 Toiſen.

Bei Gay-Luſſac's berühmter Luftfahrt ſtand das Thermometer an der Erdoberfläche auf 30°.75, in 5002 M. Höhe auf 5°.25, in 5675 M. Höhe auf 0°.5, in 5632 M. Höhe auf 0° und in der größten Höhe, die erreicht wurde, nämlich in 6977 M. auf — 9°.5.

170. Die Wärme, welche an der oberſten Erdſchichte durch die Sonnenſtrahlen erregt wird, theilt ſich nicht bloß der Luft, ſondern auch dem Innern der Erde mit, doch kann dieſes wegen der ſchlechten Leitungsfähigkeit des Bodens nur ſehr langſam vor ſich gehen und da die Zu- und Abnahme der Temperatur der äußerſten Schichten täglich und monatlich wechſelt, ſo kann auch dieſer Wechſel nur bis zu einer

geringen Tiefe bemerklich ſeyn. Bei uns ſind die täglichen Variationen ſchon in einer 3 — 4 Z. überſchreitenden Tiefe unmerklich und die größte Tiefe, bis zu welcher dieſes irgendwo auf der Erde der Fall iſt, reicht nicht über 3 F. Ueber 70 F. hinaus verſchwinden ſogar die jährlichen Variationen. Da wo die Variationen der Wärme noch merklich ſind, treten aber die Wendepuncte ſpäter ein als in der Luft und es gibt eine Tiefe, wo der Zeitpunct des jährlichen Maximums mit jenem des Minimums in der Luft zuſammenfällt und umgekehrt. Dieſes fand nach Quetelet in 24 F. Tiefe Statt. In Gegenden, wo die mittlere Temperatur unter dem Eispuncte ſteht, wie z. B. in Irkuzk, deſſen Mittelwärme — 0°.2 beträgt, muß der Boden in einer beſtimmten Tiefe immer gefroren ſeyn, wenn auch an der Oberfläche während des Sommers eine Temperatur herrſcht, die ſelbſt Cerealien zur Reife kommen läßt.

Nach Quetelet nimmt der Unterſchied zwiſchen dem jährlichen Maximum und Minimum der Temperatur in der Erde in geometriſcher Progreſſion ab, wenn die Tiefe im arithmetiſchen Verhältniſſe wächſt, und während, z. B. im mittleren und nördlichen Europa dieſe Differenz in der Tiefe von 8.6 Meter 1° C. beträgt, beläuft ſie ſich in einer Tiefe von 15.3 M. nur auf 0°.1, in 22.4 M. Tiefe gar nur auf 0°.01, und kann als verſchwindend klein angeſehen werden. In dem 26.7 Meter tiefen Keller der Pariſer Sternwarte ſteht das Thermometer conſtant auf 11°.82 und dieſe Temperatur hat ſich ſeit einem halben Jahrhundert nicht geändert. Eine Schwankung von 0°.25, die einmal eingetreten, ward durch die Arbeiten der Steinbrecher veranlaßt. In der heißen Zone von Amerika fand Bouſſingault ſchon in einer Tiefe von 5 — 6 Decimeter eine conſtante Temperatur. Beobachtungen dieſer Art macht man bei mäßigen Tiefen mit langen, in die Erde vergrabenen Thermometern; bei größeren Tiefen oder wenn man die Temperatur in Bohrlöchern ꝛc. kennen lernen will, braucht man eigens eingerichtete Thermometer, worunter das von Magnus angegebene Geothermometer das brauchbarſte ſeyn dürfte. Dieſes iſt ein gewöhnliches Queckſilber-Thermometer mit verhältnißmäßig weiter Röhre und einer nur wenige Grade über 0° enthaltenden Scale mit Graden von mindeſtens ½ Z. Größe. Das Ende der Röhre iſt in eine feine krumme Spitze ausgezogen, daſelbſt offen gelaſſen, aber mit einer weiteren Kappe gedeckt. Läßt man dieſes Inſtrument in die Tiefe hinab, deren Temperatur beſtimmt werden ſoll, ſo wird ein Theil Queckſilber aus der Röhre in die Kappe getrieben und bleibt in derſelben, wenn auch die Temperatur beim Heraufziehen des Inſtrumentes wieder ſinkt. War es, ſo lange alles Queckſilber in der Röhre ſich befand, mit einem Normal-Thermometer übereinſtimmend, und man bringt es nach dem Heraufziehen aus der Tiefe, wo etwas Queckſilber in die Kappe abfloß, wieder mit dieſem zuſammen und beobachtet die Differenz d in ihrem Stande; ſo war es in der Tiefe einer Temperatur ausgeſetzt, welche d° höher iſt als jene, bei welcher das Queckſilber die ganze Röhre ausfüllte. Man hat auch ein thermoelektriſches Element, das man mittelſt langer Drähte mit einem Multiplicator verbindet, als Geothermometer empfohlen. (Cordier in Schweigg. J. 52. 365; Ann. de Chim. 13. 283. Arago in ſeinem Annuaire pour l'an 1834. p. 171. Pogg. Ann. 31. 365; 32. 284; 34. 191; 35. 109. Die Wärmelehre des Innern unſeres Erdkörpers ꝛc. von Dr. G. Biſchof. Leipzig 1837.)

171. In unſerer Breite kann die mittlere Temperatur des Erdbodens aus jener der waſſerreichen Quellen, die nicht aus großer Tiefe kommen, entnommen werden. Die Wärme ſolcher Quellen iſt nur ſehr geringen Schwankungen unterworfen; ſie belaufen ſich bei uns auf 1 — 2°, nur in höheren Breiten erreichen ſie 3 — 4°. Das Maximum der Quellen-Temperatur fällt in der Regel auf den September, das Minimum auf den März. In größeren Breiten iſt die mittlere Wärme der oberen Bodenſchichte (zum großen Vortheile der Vegetation) höher als jene der Luft, in geringeren Breiten niederer, und man kann es als ausgemacht anſehen, daß die Bodenwärme vom Aequator gegen die Pole deſto raſcher abnimmt, je mehr man ſich dem Parallelkreiſe von 45° nähert, höher hinauf aber einen langſameren Gang befolgt. Die Urſache dieſer merkwürdigen und für die Oekonomie der Natur ſo wichtigen Thatſache liegt darin, daß die äußere Luftwärme in ſolche Tiefe vorzugsweiſe nur durch das eindringende atm. Waſſer gebracht wird. Da aber dieſes nur in mittlerer Breite das ganze Jahr hindurch in die Erde eindringt, während der Boden in kälteren Klimaten nur für das Sommerwaſſer offen iſt, in wärmeren hingegen nur in der kälteren Zeit Regen fällt; ſo kann nur in erſterem die Quellenwärme mit der mittleren Luftwärme übereinſtimmen und muß in größeren Breiten höher, in kleineren aber geringer ſeyn als die der Luft. Die Linien gleicher Luftwärme ſind von denen gleicher Erdwärme in vielen Stücken verſchieden und beide ſtimmen nur darin mit einander überein, daß ſie nicht mit dem Aequator parallel laufen. Uebrigens hängen letztere ſo gut von der geographiſchen Länge ab, wie erſtere (Humboldt in Gilb. Ann. 24. 46; Buch in Pogg. Ann. 12. 403; Kupffer ebend. 15. 159).

Folgende Tafel zeigt den Unterſchied zwiſchen der Boden- und Luft-Temperatur:

Ort.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Congo	9 ° S	18.2	20.5	450 M
Cumana	10¼ N	20.4	21.9	0
St. Jago (Cap verdiſche Inſeln)	15 N	19.6	20.0	0
Rockfort (Jamaica) . .	18	20.9	21.6	0
Havana	23	18.8	20.5	0
Nepal	28	18.6	20.0	0 (?)
Teneriffa	28½	14.4	17.3	0
Cairo	30	18.0	18.0	0
Cincinati	49	9.9	9.7	160
Philadelphia	40	10.2	9.9	0
Carmeaux	43	10.4	11.5	300 (?)

O r t.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Genf	46	8.9	7.7	396
Wien	48	8.5	8.5	156
Paris	49	9.2	8.7	64
Berlin	52½	8.1	6.8	37
Dublin	53	7.7	7 6	0
Kendal	54	7.0	6.3	0
Keswick	54½	7.4	7.1	0
Königsberg	54½	6.5	5.0	0
Edinburg	56	7.0	7.0	0
Carlscrona	56¼	6.8	6.8	0
Upſala	60	5.2	4.5	0
Umeo	64	2.3	0.6	0
Giwarten-fjäll	68⅔	1.0	— 3.0	500
Enontekis	66	1.2	— 2.2	435
Radſoe	—	2.2	— 3.5	

172. Von dem Zuſtande und dem Gange der Wärme im feſten Theile der Erde iſt jener, der im Meere Statt findet, ſehr verſchieden. In den Tropen iſt das Meer zeitweilig und zwar in der heißeſten Tageszeit minder warm als die Luft, zu andern Zeiten findet aber meiſtens das Gegentheil Statt. In den Breiten von 25 — 50° ſteht die Temperatur des Waſſers meiſtens, in den Polargegenden immer höher als die der Luft an der Meeresfläche. Die täglichen Variationen der Wärme ſind auf den Meeren in großen Entfernungen von den Küſten viel geringer als auf dem Lande, das Minimum der Temperatur findet kurz vor Sonnenaufgang Statt und das Maximum liegt, wenigſtens nach den Behauptungen einiger Beobachter, dem Mittag näher als auf dem Continente. In den Tropen nimmt die Temperatur des Meeres in der Tiefe ab, in den Polarmeeren wächſt aber die Temperatur mit der Tiefe. Die Abnahme der Temperatur des Meeres in der Tiefe erfolgt da, wo ſie Statt findet, nach Lenz anfangs ziemlich raſch, wird aber mit zunehmender Tiefe immer langſamer und endlich unmerklich. Die Tiefe, wo letzteres Statt findet, ſcheint mit dem Zunehmen der Breite immer aufwärts zu rücken; ſie beträgt bei 41° — 32° Breite 200 — 300 T., bei 21° Br. 400 T. Die niedrigſte Temperatur, welche Lenz fand, war 2°.2. Die Unterſuchung erſtreckt ſich auf 1000 T. Tiefe.

Die Differenz zwiſchen dem täglichen Maximum und Minimum beträgt auf dem Aequatormeere höchſtens 1 — 2° während ſie auf dem Lande ſich auf 5 — 6° beläuft; in einer Breite von 25 — 50° ſteigt der Unterſchied der täglichen Wärmeextreme auf dem Meere auf 2 — 3°, auf dem Continente wohl auf 12 — 15°. In der heißen Zone ſteigt die Temperatur des Meeres an der Oberfläche auf 27°, in der kalten hin-

gegen fällt ſie bis 4°. Du Petit-Thouars fand die Temperatur des Meeres in der heißen und gemäßigten Zone in der Tiefe 3.2 – 2°.5; während man unter 27° 47′ ſ. Br. im indiſchen Meere in einer Tiefe von 990 Faden nur 2°.8 hatte, zu einer Zeit wo die Temperatur an der Oberfläche 23°.8 war. Wenn das Meerwaſſer gefriert, ſcheidet ſich das Salz aus und das entſtandene Eis gibt beim Schmelzen ſüßes Waſſer. In den Polarmeeren bilden ſich Eisfelder, welche die Größe ganzer Königreiche haben. Ihre Oberfläche iſt oft eben, oft aber ſchollig, manchmal befinden ſich daſelbſt ſogar Säulen von 20 bis 30 F. Höhe. Solche Felder zerklüften oft und theilen ſich dann in Partien von 1000 — 2000 Q. F. Oberfläche. Solche Stücke werden durch die Meeresſtürme fortgeführt und gelangen ſo nicht ſelten in die gemäßigte Zone, wo ſie auf Koſten der Lufttemperatur dieſer Gegenden ſchmelzen.

Außer den bereits betrachteten Wärmeverhältniſſen iſt noch die eigene Wärme der Erde und die Temperatur des Weltraumes von Wichtigkeit. Ueber erſtere war ſchon S. 832 die Rede, von letzterer wiſſen wir aber nur ſo viel, daß ſie ſehr gering ſeyn müſſe, weil die nächtliche Abkühlung der Körper durch Strahlung ſo bedeutend iſt. Sie nummeriſch zu beſtimmen, iſt gegenwärtig noch nicht an der Zeit, weil es an den dazu nöthigen Anhaltspuncten fehlt. Indeß hat man mittelſt mehr oder weniger wahrſcheinlicher Vorausſetzungen Zahlenwerthe gefunden. So z. B. hat Pouillet die Temperatur des Weltraumes mit — 142° angegeben.

173. Die bisher aufgeſtellten Sätze und Erfahrungen liefern die Anhaltspuncte, nach welchen man ſich von den Wärmeverhältniſſen jeder Stelle auf der Erde Rechenſchaft geben kann. Wendet man ſie an, um ſich in großen Umriſſen ein Bild von dem Wärmezuſtande der Erde zu entwerfen, ſo findet man Folgendes: 1) Unſer Klima hat ſich ſeit den älteſten Zeiten nicht verſchlimmert und die Winter ſind nicht ſtrenger geworden. Dieſes läßt ſich daraus entnehmen, daß Flüſſe und Meere, die zeitweilig jetzt noch gefrieren, auch ſchon im Alterthume gefroren waren. 2) In keinem Orte der Erde erreicht ein gegen jede Strahlung geſchütztes, 5 — 8 Schuh über dem Boden erhöhtes Thermometer 46° C.; die größte, ganz ſichere, bis jetzt an einem in der Luft aufgehängten Thermometer beobachtete Temperatur iſt 30° C., die größte beobachtete Kälte — 56°.2 C. Das Meerwaſſer hat an der Oberfläche nie eine Wärme von 32° C. 3) Die ſüdliche Halbkugel iſt bedeutend kälter als die nördliche. In erſterer iſt unter 31° Breite Eis keine Seltenheit mehr, von 49 — 60° (wie etwa von Wien bis Petersburg) kommen ſchon einzelne Polar-Eismaſſen zum Vorſchein; das Feuerland, in einer Breite wie Preußen, hat ſchon ewigen Schnee. In der nördlichen Halbkugel erſtreckt ſich das Polareis 9° vom Pole, in der ſüdlichen 18 — 20° hie und da ſelbſt 30°. Schwimmende Eismaſſen hat man in beiden Erdhälften 40°, manchmal 41 — 42° vom Pole angetroffen. 4) Mit wachſender Breite nimmt die mittlere Temperatur in der neuen Welt viel raſcher ab, als in der alten, und zwar beträgt dieſe Abnahme zwiſchen 0 — 20° n. Br. in der alten und neuen Welt 2° C.; zwiſchen 20 — 30° Br., in jener 4°, in dieſer 6°; zwiſchen 30 — 40°, in jener 4°, in dieſer

7°; zwiſchen 40 — 50°, in jener 7°, in dieſer 9°, und zwiſchen 50 bis 60°, in jener 5°.7, in dieſer 7°.9 C. Wie abweichend in gleichen Breitengraden die mittlere Temperatur der ſüdlichen Halbkugel von jener der nördlichen iſt, läßt ſich aus folgender Zuſammenſtellung entnehmen:

Br.	0°—15°,	mittl.	Temp.	d. nördl.	Halbkugel	28.5,	d. ſüdl.	Halbk.	28.0
»	18°	»	»	»	»	26.5	»	»	26.5
»	22°—26°	»	»	»	»	19.3	»	»	22.5
»	34°	»	»	»	»	15.4	»	»	13.8
»	43°	»	»	»	»	17.0	»	»	16.8
»	48°	»	»	»	»	18.2	»	»	15.2
»	58°	»	»	»	»	13.5	»	»	6.2

5) Europa hat, mit Ausnahme des nordöſtlichen und nördlichen Theiles, ein mehr oder weniger ſcharf ausgeſprochenes Seeklima. Die Wärme des ſüdlichen Theiles heben die heißen afrikaniſchen Winde, welche über das Meer nach Europa kommen, das Klima des weſtlichen Theiles mäßiget das weit ausgedehnte atlantiſche Meer, jenes des nordweſtlichen der Golphſtrom; nur der nordöſtliche Theil leidet durch die kalten Winde des ausgedehnten aſiatiſchen Continentes, deren ganzen Einfluß er aber doch nicht erfährt, weil das Uralgebirge einen großen Theil derſelben aufhebt. Gewöhnlich nimmt man in Europa ein dreifaches Klima an, a) ein warmes bis 43° nördl. Breite, wo die Citrone ohne beſondere Pflege im Freien blüht. Dieſes umfaßt Spanien, Portugal, Süd-Frankreich, Italien und einen Theil der Türkei; b) ein gemäßigtes bis 65° n. Br., wo das Getreide zur Reife kommt und endlich c) ein kaltes, wo nur Rennthier-Moos fortkommt und kaum Holz mehr wächſt. 6) Aſien hat die größte Verſchiedenheit der klimatiſchen Verhältniſſe, weil es ſich nicht nur von der Mitte der heißen Zone bis in die nördliche kalte erſtreckt, ſondern auch, weil die vielen Hochebenen und mächtigen Gebirgszüge und die große continentale Ausdehnung Abweichungen im Charakter der aſtronomiſchen Klimate bedingen. Der nördliche Theil iſt gegen den Pol und das Eismeer geneigt und hat ſchon darum und wegen ſeiner großen Ausdehnung eine ſehr geringe Temperatur. Der nordöſtliche Theil beſitzt bedeutende Erhebungen über die Meeresfläche und da gehört ſelbſt der noch in der, aſtronomiſch betrachtet, gemäßigtern Zone liegende Theil zu dem kälteſten auf der Erde Der mittlere Strich des aſiatiſchen Continentes, der einen großen Theil des chineſiſchen Reiches umfaßt, hat in der Mitte und gegen Oſten hin ungeachtet ſeiner Lage zwiſchen den 28ſten und 50ſten Grade der nördlichen Breite ſeiner großen Höhe wegen einen ſehr langen Winter und einen kurzen, jedoch unerträglich heißen Sommer. Doch enthält dieſer Strich auch Länder, wo Baumwolle, Reis, Granaten und Weine wachſen. Gegen Weſten genießt der mittlere Strich Aſiens zum Theil die Vorzüge eines Seeklimas. Der ſüdliche Strich endlich, der Vorder- und Hinter-Indien umfaßt und gegen Norden durch die Gebirge von Thibet und Yun-nan gegen

die Nordwinde geſchützt iſt, kennt keinen Winter, ſondern nur einen heißen Sommer, beſonders im weſtlichen Theile, und eine Regenzeit, wie ſie tropiſchen Gegenden eigen iſt. 7) Afrika hat das heißeſte Klima auf der Erde, weil es größtentheils in der heißen Zone liegt, Wüſten mit glühend heißem Sande, brennende Oſtwinde und faſt keinen Regen hat, endlich weil es wegen Mangel an großen Meerbuſen rc. einen völlig continentalen Charakter beſitzt. Nur der Nordabhang des Atlas und ein Theil des Hottentottenlandes genießt ein gemäßigtes Klima. 8) Amerika bietet wegen ſeiner großen Ausdehnung in der Richtung von Nord nach Süd, der hohen Lage einzelner Striche, ſeiner vilen und großen Flüſſe, der Einwirkung der kalten Waſſerſtrömungen, ſeiner undurchdringlichen Wälder rc. rc. große Mannigfaltigkeiten des Klimas dar und iſt überhaupt weniger warm als andere Länder in gleicher Breite. Peru, das Thal von Quito und von Mexico haben ungeachtet ihrer Lage in der heißen Zone wegen ihrer bedeutenden Höhe ein ſehr gemäßigtes angenehmes Klima, und überhaupt haben die in der heißen Zone liegenden Striche dieſes Welttheils die herrlichſte Vegetation von der Welt. Die in der gemäßigten Zone liegenden Theile ſind weniger begünſtigt als gleich gelegene anderer Welttheile; über 50° Br. hinaus ſowohl gegen Süden als gegen Norden ſind ſie nicht mehr für den europäiſchen Getreidebau geeignet, der Winter iſt da ſchon ſehr ſtrenge. Das nördliche Klima iſt beſonders den kalten Nordwinden Preis gegeben und das Polarklima erſtreckt ſich darum weit in die gemäßigte Zone hinein. 7) Auſtralien gehört faſt ganz der heißen Zone an, aber wegen der mehrfachen Zerſtückelung genießen mehrere Theile ein höchſt angenehmes und fruchtbares Klima. Daß es unter ſo verſchiedenen Verhältniſſen, wie die ſind, welche in dieſem Aggregate von Inſeln Statt finden, nicht an großen klimatiſchen Mannigfaltigkeiten fehlen könne, iſt für ſich klar.

Ueber dieſes Kapitel iſt als Hauptquelle anzuſehen: Recherches sur les causes des inflexions des lignes isothermes, und: Considérations sur le temp, et l'état hygrom. de l'air dans quelques parties de l'Asie. Par M. de Humboldt in deſſen Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques. Paris 1831. Dove's Repertorium der Phyſik. Bd. 3 und 4. Kreil's aſtron. meteorologiſches Jahrbuch. 1. Jahrgang. Prag 1842.

Drittes Kapitel.

Luftſtrömungen.

174. Jede im Verhältniſſe zur Erdoberfläche fortſchreitende Bewegung der Luft heißt Wind. Die zugleich mit der Erde Statt findende Axendrehung der Atmoſphäre macht daher keinen Wind. Lüftchen, Sturm, Orcan ſind nur dem Grade nach verſchiedene Winde. Die verſchiedenen Winde unterſcheiden ſich von einander vor-

züglich durch ihre Richtung und Stärke, welche letztere wieder von ihrer Geſchwindigkeit abhängt.

175. In der Regel benennt man einen Wind nach der Weltgegend, von welcher er bläſt. Stimmt dieſe nicht mit einer der vier Hauptweltgegenden überein, ſo ſetzt man den Namen aus den Hauptweltgegenden zuſammen, zwiſchen welche ſeine Richtung fällt, nennt aber immer Süd oder Nord zuerſt. So führt ein Wind, der von einer Gegend herbläſt, die mitten zwiſchen Nord und Weſt liegt, den Namen Nordweſtwind (nicht Weſtnordwind); jener, deſſen Richtung mitten zwiſchen Süd und Oſt liegt, Südoſtwind (nicht Oſtſüdwind). Winde, die aus einer Gegend kommen, welche zwiſchen Nordoſt, Südoſt, Südweſt, Nordweſt und einer Hauptweltgegend liegt, bekommen den Namen von dieſer und der Hauptgegend. Sie heißen demnach Nordnordoſt-, Oſtnordoſt-, Oſtſüdoſt-, Südſüdoſt-, Südſüdweſt-, Weſtſüdweſt-, Weſtnordweſt-, Nordnordweſtwinde. Man erkennt die Richtung der Winde aus der Richtung freiſtehender Dachfahnen, aus der Bewegung der zarten Baumäſte, in Ermanglung eines andern Mittels auch aus der ſchiefen Richtung einer herabfallenden Feder. Ein benetzter in die Luft emporgehobener Finger iſt ſtets an der Windſeite am kälteſten.

176. Die Stärke (Geſchwindigkeit) des Windes berechnet man aus der Bewegung eines leichten Körpers, z. B. einer Feder, aus dem Parameter der Bahn eines durch den Wind fortgetriebenen und zugleich durch die Schwere vertical herabgezogenen Körpers oder mittelſt eigener Inſtrumente, die Anemometer heißen und unmittelbar entweder die Höhe angeben, bis zu welcher ein beſtimmtes Gewicht durch den Wind gehoben wird, oder die Größe der Verſchiebung einer beſtimmten Laſt oder endlich die Umdrehungszahl kleiner Windflügel, aus denen ſich durch Rechnung die Geſchwindigkeit finden läßt. Wollaſton's Differenzial-Barometer dürfte auch ein hiezu brauchbares Werkzeug abgeben. Herrſcht nämlich an einem Orte der Luftdruck p, an einem andern der Druck g, ſo geht nach Schmidt aus dem Unterſchiede dieſer Kräfte ein Wind von der Geſchwindigkeit $v = \frac{p - g}{g} . 1215$ P. Fuß hervor. Die Größen p und g mißt man aber eben mittelſt des letztgenannten Inſtrumentes (Theorie und Gebrauch des hydrometriſchen Flügels von Woltmann. Hamburg 1790. Schmidt's Windmeſſer in Pogg. Ann. 14. 59). Mäßige Winde haben in unſeren Gegenden eine Geſchwindigkeit von 12 bis 15 F., bei einer Geſchwindigkeit von 32 Fuß gehören ſie ſchon zu den Stürmen. Man will aber ſchon Stürme von 120 Fuß Geſchwindigkeit beobachtet haben.

177. Alle Bewegungen der Luft werden zunächſt durch eine Aenderung ihrer Ausdehnſamkeit hervorgebracht, eine ſolche Aenderung wird aber in der Atmoſphäre faſt immer durch Temperaturwechſel erzeugt. Sobald nämlich an einer Stelle eine Erwärmung eintritt, dehnt ſich die Luft daſelbſt aus, wird ſpecifiſch leichter und ſteigt daher

in dem kälteren Mittel auf. Es entſteht ſomit ein aufſteigender Strom, gleichſam ein Wind in verticalem Sinne. Dadurch hebt ſich aber die ganze Luftſäule über der erwärmten Stelle. Der verlängerte Theil hat nun nicht mehr wie früher in einer ſeitwärts befindlichen Luft eine Stütze, er muß ſich über dieſe ergießen und ſo entſteht oben ein Strom von der erwärmten Stelle zur kälteren hin. Unten aber muß die aufſteigende Luft wieder durch andere erſetzt werden und ſomit entſteht ein Strom von der kälteren Umgebung zu der wärmeren Stelle. Man muß es demnach als allgemeines Geſetz anſehen, daß, wenn von zwei benachbarten Stellen eine ſtärker ſich erwärmt als die andere, unten ein Wind von der kälteren zur wärmeren, oben von der wärmeren zur kälteren eintrete. Erſtrecken ſich ſolche Ströme nicht auf mehrere Breitengrade, ſo hat auf ihre Richtung die Axendrehung der Erde keinen Einfluß, bei weiter Erſtreckung hingegen macht ſich dieſer Einfluß wohl bemerkbar, wie gleich gezeigt werden wird.

178. Das Aufſteigen der Luft muß natürlich in der heißen Zone wegen der dort herrſchenden ſtarken Erwärmung am kräftigſten vor ſich gehen und deßhalb muß daſelbſt auch das Zuſtrömen der Luft von den Seiten am merklichſten ſeyn. Die aus Nord und Süd kommenden Ströme haben eine kleinere Rotationsgeſchwindigkeit, als der Gegend entſpricht, wohin ſie zielen, ſie bleiben darum in der Richtung von Weſt nach Oſt zurück und erſcheinen demnach als öſtliche Winde. Darum muß dort, wo die Sonne im Zenith ſteht und wohl auch in einiger Entfernung davon, ein beſtändiger Oſtwind (Paſſatwind) herrſchen. Da, wo die zwei entgegengeſetzten Ströme gleiche Stärke haben, heben ſie ſich auf und der Wind erſcheint rein öſtlich; außerhalb dieſer Grenze aber entſteht durch Zuſammenſetzung des Nordſtromes mit dem aus der Axendrehung der Erde hervorgehenden Oſtſtrome ein NO., durch Zuſammenſetzung des Südſtromes mit demſelben Oſtwinde ein SO. Wind. Demnach hat man drei Gürtel. In dem mittleren derſelben herrſcht ein Oſtwind. Dieſer kann keine namhafte Stärke haben, weil die von den Polen zuſtrömende Luft ſchon faſt die ihrer Stelle entſprechende Geſchwindigkeit angenommen hat. Darum heißt dieſe Gegend auch die der Windſtillen, Calmen. Daſelbſt herrſchen die ſtärkſten tropiſchen Regen und Gewitter, und es wechſeln Windſtillen mit Windſtößen und Stürmen (Tornados der Spanier). An der Nordſeite dieſer Region iſt die des NO. Paſſates, an der Südſeite jene des SO. Paſſates. Die Region der Calmen hat eine mittlere Breite von 6°, wächſt aber auf $9^3/_4$° und vermindert ſich zu anderer Zeit auf $2^1/_4$°. Behielte die Sonne immer dieſelbe Abweichung, ſo würden dieſe Zonen unverändert bleiben; wegen der Aenderung der Abweichung der Sonne rücken ſie aber insgeſammt gegen Nord oder Süd, je nachdem die Sonne gegen den nördlichen oder ſüdlichen Wendekreis zu geht. Dieſe Windverhältniſſe treten über großen Meeren am reinſten hervor, weil da die Erwärmung weniger durch fremdartige Einflüſſe geſtört wird, als auf dem feſten Lande, wo durch die verſchiedene Erwärmungsfähigkeit des Bodens Nebenſtrömungen

hervorgerufen werden. In der That bemerkt man den Paſſat auch am deutlichſten in den drei großen Meeren der heißen Zone, im großen Ocean zwiſchen Amerika, Aſien und Neuholland, im atlantiſchen und im indiſchen Meere, jedoch ſelbſt da mit Modificationen, die von den Eigenthümlichkeiten dieſer Meere, von der Nähe der Küſten, von der Geſtalt, Erhebung und Richtung derſelben und ihrer verſchiedenen Erwärmungsfähigkeit herrühren. Dadurch werden die Paſſatwinde auch in die beſtändigen Küſtenwinde umgewandelt. Der an der Weſtküſte Mexico's herrſchende beſtändige Weſtwind, der an den braſilianiſchen Küſten wehende Südwind verdankt beſagten Verhältniſſen ſeinen Urſprung.

Dem unteren Paſſatwinde muß in der oberen Luftregion ein gerade entgegengeſetzter entſprechen und demnach nördlich von der Region der Calmen ein Südweſtſtrom, ſüdlich davon ein Nordweſtſtrom beſtehen. In welcher Höhe die Grenze der zwei entgegengeſetzten Paſſate liege, iſt nicht ganz ausgemacht Auf der Silla de Caraccas fand Humboldt den Oſtpaſſat noch in der Höhe von 1350 Klaftern, auf Teneriffa herrſcht aber ſchon in der Höhe von 1500 Kl. ein Weſtwind.

179. Im großen Ocean, als der größten Waſſerſammlung auf Erden, herrſcht in einiger Entfernung von den Küſten der Paſſatwind am regelmäßigſten. Der Nordoſtpaſſat erſtreckt ſich da von 2 bis 25° nördlicher, der Südoſtpaſſat von 2 — 21° ſüdlicher Breite. Auch im atlantiſchen Meere trifft man dieſen Wind in ziemlicher Regelmäßigkeit und zwar den Nordoſt- von 8 — 30° nördlicher, den Südoſtwind von 3 — 28° ſüdlicher Breite an. Hier wird die Region der Calmen nicht vom Aequator halbirt, ſondern es fällt der größere Theil derſelben in die nördliche Erdhälfte. In beiden Meeren hängen die Grenzen des Stromes von den Jahreszeiten ab, wie ſchon aus dem Vorhergehenden klar iſt. Im indiſchen Meere, als dem kleinſten der drei großen Waſſerſammlungen der Erde, hat der Paſſat nicht überall jenen Charakter der Beſtändigkeit und Regelmäßigkeit, wie in den eben genannten Meeren, weil da die Erwärmungsfähigkeit des afrikaniſchen Continentes von der einen und jene des aſiatiſchen von der anderen Seite ſchon großen Einfluß hat. Während des Winters, etwa vom October bis April, wirket der Einfluß der Continente mit jenem, dem der beſtändige Paſſatwind ſonſt ſein Entſtehen verdankt, zuſammen; denn zu dieſer Zeit iſt die Temperatur des ſüdlichen Afrika am größten, jene des indiſchen Continents am kleinſten und dieſer Umſtand würde ſchon für ſich einen Strom hervorbringen, der im ſüdlichen Theile des Meeres eine ſüdweſtliche, im nördlichen eine nordöſtliche Richtung haben müßte, ganz der Richtung des regelmäßigen Paſſates gemäß; aber im Sommer, nämlich vom April bis October, veranlaßt die große Erwärmung des aſiatiſchen Continentes eine Strömung nach Norden, die ſich in einen Südoſtwind umſetzt. Daher herrſcht im nördlichen Theile des indiſchen Meeres nur während des Winters der regelmäßige Nordoſtpaſſatwind, während des Sommers aber macht er einem nach entgegengeſetzter Richtung wehenden, alſo einem Südweſt-

winde Platz. Dieſe von den Jahreszeiten abhängige Winde nennt man Mouſſons (vom Malayiſchen Worte Moussin, Jahreszeit).

180. Es gibt noch an vielen anderen Orten periodiſch wechſelnde Winde, wenn auch ihre Periode nicht gerade ein Jahr iſt. Sie laſſen ſich immer aus den wechſelnden Wärmeverhältniſſen erklären. So z. B. herrſchen über dem mittelländiſchen Meere, in Griechenland, Italien, Egypten ꝛc. den Sommer über nördliche Winde, weil die Erhitzung in der Sahara viel größer iſt als über dem benannten Meere, im Winter hingegen ſtellen ſich Südwinde ein, weil auch entgegengeſetzte Wärmeverhältniſſe ſich geltend machen. Winde mit täglicher Periode ſind die ſogenannten Land- und Seewinde. An den Küſtenländern bläſt nämlich Nachts in der Regel der Wind vom Land zur See, des Tages von der See auf das feſte Land hin, weil ſich das Land bei Tage eher und ſtärker erhitzt als der Spiegel des Waſſers, Nachts aber auch ſchneller und ſtärker abkühlt. Solche periodiſche Winde herrſchen auch in langen Thälern und Schluchten, an den Ufern großer Seen, wie z. B. am Garderſee, am Bodenſee ꝛc. (Fournet in Pogg. A. Ergänz. 1. 490.)

181. Die beiden Luftſtröme, deren Exiſtenz den Paſſatwind bedingt, ſpielen auch in der gemäßigten Zone eine große Rolle. Dieſe Ströme fließen wohl in der heißen Zone über einander und bedingen die große Regelmäßigkeit der Winde der dortigen Gegend, in der gemäßigten Zone hingegen (ſchon von 30° n. Br. an) beſtehen ſie neben einander, und es herrſcht ſomit ſchon in den unteren Regionen einerſeits ein ſüdweſtlicher, andererſeits ein nordöſtlicher Strom. Da, wo beide Ströme an einander grenzen, ſuchen ſie ſich gegenſeitig zu verdrängen und darum herrſchen daſelbſt ſehr veränderliche Winde. Ob eine Gegend zum Gebiet des nordöſtlichen oder des ſüdweſtlichen Stromes gehöre, hängt von den Hinderniſſen ab, welche der eine oder der andere Strom daſelbſt findet. So z. B. muß ein aufſteigender Strom das Herabſinken des oberen Windes hindern und die Gegend, wo dieſes Statt findet, wird bei übrigens gleichen Umſtänden eher Nordoſt- als Südweſtwind haben. Eben ſo müſſen hohe Gebirgszüge dem Polarſtrome hindernd in den Weg treten und Gegenden, wo ſolche ſich befinden, müſſen öfter dem Süd- als dem Nordſtrome angehören. Darum hängt die herrſchende Windesrichtung auch von der Jahreszeit ab.

Aus nachſtehender Tafel erſieht man, an wie viel Tagen unter 1000 in dem nebenſtehenden Lande einer der acht Hauptwinde herrſcht:

Land.	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich und Niederlande .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutſchland	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland und Ungarn . . .	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika	96	116	49	108	123	197	101	210

Zur Vergleichung der Häufigkeit der einzelnen Winde diene, daß wenn ſie ſich in die 8 Weltgegenden gleich theileten, jedem die Zahl 125 entſprechen müßte. Da iſt es nun nicht ſchwer zu entnehmen, daß die Südweſtwinde bei weitem das Uebergewicht haben, hierauf nach der Rangordnung W. und NW. Winde folgen. Unter den Winden der öſtlichen Gegend ſtehen die Nordoſtwinde oben an. Bezüglich der Abhängigkeit der Winde von den Jahreszeiten gibt Schouw an, daß im Winter die Luftſtrömung meiſtens ſüdlicher iſt als im übrigen Theile des Jahres, im Frühlinge herrſchen häufig Oſtwinde, im Sommer anfangs Weſtwinde, ſpäter Nordoſtwinde; im Herbſte nehmen die ſüdlichen Winde wieder zu.

182. Selbſt die veränderlichen Winde höherer Breiten ſtehen mit den Paſſaten in einem gewiſſen Zuſammenhange. Solche herrſchen nämlich an einem Orte dann, wenn er ſich an der Grenze der zwei Paſſatſtröme befindet. Dieſe Winde befolgen ungeachtet ihrer ſcheinbaren Ungebundenheit ein gewiſſes Richtungsgeſetz, indem ſie an der nördlichen Halbkugel in folgender Ordnung auf einander folgen:

N, NO, O, SO, S, SW, W, NW, N.

In der ſüdlichen Halbkugel ſoll eine umgekehrte Ordnung Statt finden. Es geſchieht zwar manchmal, daß ſich auch der Wind in entgegengeſetztem Sinne ändert, allein dann hält er nicht an und ſpringt bald wieder in ſeine frühere Richtung zurück. Man hat ſich bemüht auch dieſes Drehungsgeſetz von den Polarſtrömen abhängig darzuſtellen, doch ſcheint mir dieſe Aufgabe noch nicht gelöſet zu ſeyn. (Dove in Pogg. Ann. 13, 583; 36, 321.)

Nach Schouw iſt die an jedem Orte herrſchende mittlere Windesrichtung conſtant, aber ſie iſt nicht eine wirklich vorhandene Größe, etwa wie die mittlere Temperatur oder die Reſultirende einer gegebenen Anzahl von Kräften; deßungeachtet iſt ihre Einführung von großem Nutzen. Sie verſinnlichet uns gleichſam das Daſeyn der zwei neben einander befindlichen Ströme, deren einer eine nordoſtliche, der andere eine ſüdweſtliche Richtung hat, deren Grenz-Linie veränderlich iſt und bald jenes, bald dieſes Land trifft. Die geringe Erwärmung des atlantiſchen Oceans während des Sommers, verſtärkt, die geringe Erkaltung des Oceans im Winter ſchwächt die weſtliche Richtung des Windes. Bezeichnet man die Richtung des Südwindes mit 0°, die des Weſtwindes mit 90°, des Nordwindes mit 180° und des Oſtwindes mit 270°; ſo iſt die mittlere Windesrichtung in England 60°, Frankreich und Niederlande 88°, Deutſchland 76°, Dänemark 62°, Norwegen 59°, Rußland, Polen und Ungarn 177°. (Meteorologiſche Unterſuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Beiträge zur Climatologie von Schouw. 1. Heft. Dove in Pogg. Ann. 13, 583. Schübler und Kämtz in Schweigg. J. 52. 257; 55. 135. Tableau des vents, des marées et des courans etc. par Romer. Paris 1806.)

183. Die Windesrichtung ſteht in Verbindung mit dem Barometerſtande ſo daß man an jedem gegebenen Orte jede Windesrich-

tung einem beſtimmten Luftdruck entſprechend findet und ſomit eine **barometriſche Windroſe** verzeichnen kann. Es läßt ſich als Regel anſehen, daß Winde, welche von Norden und dem Inneren des Continents kommen, den höchſten, ſolche hingegen, welche vom Aequator und vom Meere her wehen, den niedrigſten Barometerſtand mit ſich führen. Dieſer Regel gemäß fällt in Europa an den meiſten Orten der größte Luftdruck mit dem zwiſchen Nord und Oſt, der geringſte mit dem zwiſchen Süd und Weſt herkommenden Winde zuſammen.

Folgende Tabelle gibt den mittleren Luftdruck für jeden der 8 Hauptwinde an fünf Hauptorten Europa's an:

Winde.	London.	Paris.	Berlin.	Petersburg.	Moskau.
N.	336″.50	336″.50	336″.32	3 6″.78	329″.40
NO.	337 .22	336 .68	336 .62	337 .78	330 .28
O.	336 .43	335 .68	336 .36	337 .79	329 .77
SO.	335 .50	334 .26	334 .55	337 .90	328 .81
S.	334 .41	3 3 .87	333 .06	336 .86	328 .32
SW.	334 .80	334 .03	333 .61	336 .85	328 .19
W.	335 .70	334 .94	335 .13	336 .65	328 .51
NW.	336 .03	335 .92	335 .85	335 .83	328 .82
Mittelwerth.	335″.83	335″.23	335″.14	337″.19	329″.01

In den Vereinigten Staaten ſteht das Barometer am höchſten bei Nordoſt, am niedrigſten bei Südoſtwinden und eben ſo verhält es ſich in Peking.

184. Die Winde, meiſtens ein Erzeugniß der Temperaturveränderungen, nehmen ſelbſt einen großen Einfluß auf die Temperatur der Luft, ſo daß jedem Winde an einer beſtimmten Stelle der Erde eine beſtimmte mittlere Temperatur entſpricht, und es alſo auch eine **thermiſche Windroſe** gibt. Die mehr nördliche Windesrichtung ſetzt im Sommer die Temperatur herab, die mehr ſüdliche erhöht ſie im Winter; im Frühling und Herbſt iſt dieſer Einfluß von geringerer Bedeutung, doch ſchließt ſich der Frühling an den Sommer, der Herbſt an den Winter an. Die Temperaturunterſchiede der Winde ſind nicht das ganze Jahr gleich, ſondern nehmen von den kälteren zu den wärmeren Monaten hin ab; derſelbe Wind hat auch nicht das ganze Jahr hindurch einerlei thermiſchen Werth, der NO. ändert ſich in dieſer Beziehung am meiſten, der SW. am wenigſten. Bei OSO. und S. Winden ſteigt das Thermometer, bei SW. geht es vom Steigen in Fallen über, bei WNW. und N. Winden fällt es und bei NO. geht es vom Fallen in Steigen über. Der kälteſte Wind kommt bei uns durchſchnittlich etwas öſtlich von N., der wärmſte etwas weſtlich von S. Im Winter und Frühling kommt der kälteſte Wind mehr von O., der wärmſte mehr von W., im Sommer aber liegt der Ort des kälteſten Windes weſtlich von N., der des wärmſten öſtlich von S.

Am merkwürdigſten ſind in Bezug ihres Einfluſſes auf die Temperatur die heißen, trockenen, vielleicht giftigen Winde, welche in ſüdlichen Ländern zeitweilig herrſchen, und in verſchiedenen Orten verſchiedene Namen führen, wie Sirocco, Chamſin, Samum und Harmattan. (Kamtz in Schweigg. J. 30. 145.)

Sirocco heißt in Italien der ermattende, beſonders nervenſchwächende unangenehm afficirende Südwind. Er erſtreckt ſich bis nach Tirol und Steiermark. Chamſin, Samum und Harmattan iſt ein heißer, erſtickender Wind, der in Arabien, Perſien, Syrien, Nubien und Aegypten ꝛc. zeitweilig herrſcht. In letzteren Ländern heißt er Chamſin (arabiſch: fünfzig, weil er fünfzig Tage wehen ſoll). Rußegger, der ihn ſelbſt beobachtete, ſagt, er folge immer auf heitere, windſtille, drückend heiße Tage. Beim Eintritte deſſelben erheben ſich dichte ſchwarze Wolken, denen bald andere feuerrothe folgen, es verbreitet ſich ein fahles, röthlichgelbes Licht, Thiere und Menſchen verbergen ſich. Bald unterbricht ein dumpfes Raſſeln und Kniſtern die Todtenſtille, die Wolken ſcheinen ſich auf der Erde hinzuſchieben, und in einem Nu iſt man mit Sand und Staub bedeckt. Häufig ſchließt ein Regen und ein heftiges Gewitter dieſes Phänomen. Dieſer Wind weht nur in der Regenzeit, und zwar im Anfange derſelben, und kommt meiſt aus SO. Der Samum iſt nach dieſem Beobachter ein Wind der Wüſte; er weht zu verſchiedenen Jahreszeiten, aus verſchiedenen Weltgegenden, und iſt nicht periodiſch wie der Chamſin. Er iſt ein gewöhnlicher, über den ſtark erhitzten Boden hinſtreichender, viel Staub und Sand mit ſich führender Sturmwind.

185 Zwei einander entgegengeſetzte, in den oberen Regionen herrſchende Winde erzeugen oft jene merkwürdigen, ſich nach *unten* verbreitenden Wirbel, die man Wetterſäulen, wenn ſie über Waſſer erſcheinen, Waſſerhoſen, wenn ſie ſich über Land zeigen, Sandhoſen zu nennen pflegt. Eine ſolche Wetterſäule beſteht aus einem hohlen, geraden oder krummen Doppelkegel (Fig. 400), der durch eine ſeiner Baſen mit einer Wolke, durch die andere mit der Erde zuſammenhängt, ſich um ſeine Axe dreht und dabei in fortſchreitender Bewegung begriffen iſt. Der obere Theil beſteht aus Wolkenmaſſe, der untere nach Umſtänden aus Waſſer oder Staub und andern feſten Körpern; der größte Durchmeſſer jedes derſelben wechſelt von einigen bis zu 5000 — 6000 Fuß, die Höhe zwiſchen 30 und 2000 F. Die Farbe einer ſolchen Wetterſäule ſtimmt mit jener der Wolken überein und iſt meiſtens grau, dunkelblau, wohl auch dunkelbraun und ſogar feuerroth; der mittlere Theil einer Waſſerhoſe iſt meiſt durchſichtig. Die Geſchwindigkeit, mit der ſie fortſchreitet, iſt ſehr verſchieden; man hat ſolche beobachtet, die in einer Stunde 7 bis 8 Meilen zurücklegten, und wieder andere, denen man leicht zu Fuß folgen konnte. Ihre Bahn iſt oft gerade, manchmal auch gebrochen, ſogar zickzackförmig, aber immer iſt eine beſtimmte Richtung vorherrſchend, und wie es ſcheint, jene der herrſchenden Winde. Beim Fortrücken hebt und ſenkt ſie ſich abwechſelnd und dreht ſich dabei mit veränderlicher, oft ſehr großer Geſchwindigkeit um ihre Axe. Die roti-

rende Bewegung erzeugt eine Fliehkraft und dieſe bewirkt in der Axe der Kegel eine ſtarke Luftverdünnung, welche die mechaniſche Kraft dieſes Phänomens, die ſchon vermög der fortſchreitenden Bewegung bedeutend iſt, ſehr verſtärkt. Vermöge dieſer Kraft werden Bäume, die ihr in den Weg kommen, entwurzelt, Häuſer abgedeckt, umgeſtürzt oder gar verſetzt, ſchwere Balken mehrere hundert Fuß weit fortgeführt, leichte Körper aber ſelbſt Meilen weit fortgeſchafft. Nur aus der dabei vorhandenen Luftverdünnung läßt es ſich erklären, wie weiche Körper, wie z. B. Linnenzeuge, Schnupftücher ꝛc. in die Ritzen der Wände ſo eingetrieben werden können, als hätte man ſie abſichtlich hineingeſtopft, und wie es möglich wird, daß Fußböden aufgehoben werden. Die dabei vorkommenden elektriſchen Erſcheinungen, als ein ſchwefeliger Geruch, Hagel und Blitze, ſcheinen bloß Wirkungen der Wirbel zu ſeyn, nicht aber, wie man ſonſt glaubte, einen elektriſchen Urſprung des Phänomens ſelbſt zu begründen. (Demaiſtre in Schweigg. Jahrb. 7. 291. Oerſted in Schumacher's Jahrbuch für das Jahr 1840. S. 228.)

Viertes Kapitel.

Druck der Luft- und Dunſtatmoſphäre.

186. Der Barometerſtand unterliegt in unſeren Gegenden zahlreichen, bald größeren bald kleineren, bald langſam, bald raſch auf einander folgenden Bewegungen, die an gar kein Geſetz gebunden zu ſeyn ſcheinen. Hingegen unter dem Aequator, beſonders in Küſtenländern erfolgen die Aenderungen des Luftdruckes ſo regelmäßig und treten ſo ſcharf hervor, daß man das Geſetz, welches ſie befolgen, gar nicht verkennen kann. Insbeſondere laſſen ſich die täglichen Variationen des Luftdruckes ſo leicht erkennen, daß hiezu Beobachtungen eines einzigen Tages hinreichen, und ſie ſtellen ſich ſo regelmäßig ein, daß man aus ihnen beinahe die Tagesſtunde erkennen kann. Täglich Früh um 9 Uhr erreicht daſelbſt das Barometer ſeinen höchſten Stand, ſinkt von da an fortwährend bis gegen 4 oder 4½ Uhr Nachmittags, wo es ſeinen niedrigſten Stand einnimmt. Iſt dieſer erreicht, ſo beginnt ein neues Steigen, das bis um 11 Uhr Abends anhält, wo die Queckſilberſäule ein zweites Maximum ſeines Standes erreicht. Nach dieſem beginnt wieder ein Fallen und dieſes hält bis um 9 Uhr Vormittag an, und von dieſer Stunde an beginnt die folgende tägliche Periode. Zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Stande findet ein Unterſchied von etwa 1 L. Statt. Die Jahreszeiten ſcheinen hier weder auf die Zeit der Maxima und Minima (Wendeſtunden) noch auf die Größe der Schwankung einen Einfluß zu haben. Hier iſt es eben der Mangel an unregelmäßigen Veränderungen, welcher die regelmäßigen Variationen ſo leicht erkennen läßt. Ueber den Aequator hinaus miſchen ſich ſchon unregelmäßige Veränderungen ein und ſtören den Gang der re-

gelmäßigen. Man muß deßhalb in dieſen Gegenden längere Zeit beobachten, um dieſen Gang herauszufinden. Der derſelben Stunde entſprechende Barometerſtand iſt nämlich wegen der unregelmäßigen Veränderungen bald größer bald kleiner, als er ohne die unregelmäßigen Schwankungen des Luftdruckes wäre, und nur, wenn man aus einer großen Anzahl von Beobachtungen das Mittel nimmt, tilgen ſich die unregelmäßigen Variationen und man erhält ein Reſultat, wie man es ohne das Daſeyn von Störungen ſchon aus der Beobachtung eines einzigen Tages erhalten hätte. Für die heiße Zone außerhalb des Aequators reichen ſchon zehntägige Beobachtungen hin, um dieſen Zweck zu erreichen, in unſerer Breite braucht man aber durch einen Monat fortgeſetzte Beobachtungen, bloß um das Daſeyn periodiſcher Schwankungen wahrzunehmen; um aber deren Geſetze und die Größe der Variation zu erkennen, ſind Beobachtungen nöthig, die wenigſtens ein ganzes Jahr umfaſſen. Auf dieſem Wege hat man folgende Geſetze der täglichen regelmäßigen Barometerveränderungen kennen gelernt: Faſt in jedem in den Verhältniſſen eines Seeklima's befindlichen Orte vom Aequator bis zu einer Breite von 79° und zu einer Höhe von 2000 Klafter, erlangt das Barometer täglich zweimal ſeinen höchſten und eben ſo oft ſeinen niedrigſten Stand, und zwar erſteren zwiſchen 8½ und 10½ Uhr Früh und zwiſchen 9 und 11 Uhr Abends, letzteren zwiſchen 3 und 5 Uhr Abends und zwiſchen 3 und 5 Uhr Morgens. Orte mit entſchiedenem Continental-Klima entbehren das Maximum am Morgen ganz oder zum Theil. Die Wendeſtunden rücken außerhalb der heißen Zone im Winter dem Mittage näher. Wenn man vom Mittel der beiden täglichen Maxima das Mittel der beiden täglichen Minima abzieht, ſo erhält man das Mittel der täglichen Variation. Dieſes ändert ſich mit der geogr. Breite und wird deſto kleiner, je größer jene Breite iſt. Im Winter iſt dieſes Element kleiner als im Sommer. Der Zuſtand der Atmoſphäre hat auf die Zeit dieſer Veränderungen keinen Einfluß, die Höhe eines Ortes ſcheint die Wendeſtunden dem Mittag näher zu bringen und die Größe der Schwankungen zu vermindern.

Die mittlere tägliche Variation deſ Barometerſtandes beträgt zu Quito 2.82 Millimeter, Guayna (10° 36′ Br.) 2.44, Jamaika (17° 56′ Br.) 1.45, canariſchen Inſeln (28° 8′ Br.) 1.10, Rom (41° 54′ Br.) 0.70, Marſeille (43° 18′ Breite) 0.72, Straßburg (48° 34′ Breite) 0.80, Paris (48° 50′ Br.) 0.76, London (51° 31′ Br.) 0.38, in 74° Breite 0.10 Millimeter.

187. Wenn man zum mittleren Werthe der beiden täglichen kleinſten Barometerſtände die Hälfte der mittleren Schwankung addirt, ſo erhält man den mittleren Barometerſtand des betreffenden Tages. Dieſen findet man auch ſehr nahe aus einer einzigen zu Mittag angeſtellten Beobachtung. Sucht man aus den Tagesmitteln das Monatmittel und vergleicht die Werthe für die einzelnen Monate mit einander, ſo erkennt man das Geſetz, nach welchem dieſe Werthe ſich während eines Jahres ändern. Man findet auf dieſem Wege: 1) Daß es eben

ſo jährliche periodiſche Barometerveränderungen gibt, wie deren tägliche beſtehen; 2) daß der Gang dieſer Variationen in einem Continental Klima anders beſchaffen iſt als in einem Seeklima. 3) In allen Orten der nördlichen Halbkugel iſt der Luftdruck im Winter am größten und nimmt von da an ab. In einem Continentalklima, wie es das aſiatiſche Feſtland am charakteriſtiſchen darſtellt, geht dieſe Abnahme fort bis zur größten Sommerhitze und zu dieſer Zeit erreicht der Luftdruck ſein Minimum und wächſt wieder bis zur größten Winterkälte, ſo daß es da nur ein einziges jährliches Maximum und eben ſo nur ein einziges Minimum gibt. In einem Seeklima, wie es ſich im weſtlichen Europa ausſpricht, hat man aber zwei jährliche Maxima und zwei Minima. Der Druck, der im Jänner am größten iſt, nimmt ab bis zum April und erreicht in dieſem Monate das erſte Minimum. Von da an beginnt wieder eine Zunahme und hält an bis zum Sommer, wo das zweite Maximum eintritt, das aber geringer iſt als jenes vom Winter. Dieſer Stand vermindert ſich bis zum November, wo das zweite Minimum Statt hat; vom November bis zum Jänner tritt wieder ein Steigen des Barometers ein, bis das Maximum erreicht iſt, von dem wir ausgegangen ſind.

188. Es iſt ſchon vorher geſagt worden, daß es in der gemäßigten und kalten Zone außer den regelmäßigen Aenderungen des Luftdruckes auch noch ſolche gibt, an denen wir keine periodiſche Wiederkehr erkennen und die wir daher unregelmäßige nennen. Man ſollte ſie eigentlich nichtperiodiſche heißen.

Gäbe es keine unregelmäßige Barometerſchwankungen, ſo müßte man an zwei auf einander folgenden Tagen zu derſelben Stunde genau denſelben Barometerſtand finden, ja ſelbſt an weit von einander abſtehenden Tagen könnten die gleichſtündigen Barometerbeobachtungen nur Differenzen zeigen, wie ſie aus der Verſchiebung der Wendeſtunden der täglichen Oscillationen und der Größe der Variation der täglichen Schwankung hervorgehen. Differenzen, welche ſich an gleichſtündigen Barometerhöhen einander nahe ſtehender Tage zeigen, geben demnach die Größe der unregelmäßigen Veränderungen ſelbſt an. Man hat nur für wenige Orte auf ſolche Weiſe beſagte Veränderungen geſucht, meiſtens hat man ſich aber das Geſchäft dadurch erleichtert, daß man in einer längeren Reihe von Beobachtungen den Unterſchied zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Stande des Barometers in jedem Monate ableitete, und denſelben als mittlere Schwankung des betreffenden Monats betrachtete. Aus den Werthen der einzelnen Monate des Jahres läßt ſich abermals ein Durchſchnitt finden und dieſer gibt den mittleren Werth der monatlichen Schwankungen, die im Laufe des Jahres eintreten. Auf ſolche Weiſe hat man gefunden, daß die unregelmäßigen Schwankungen im Sommer kleiner ſeyen als im Winter, daß ſie mit der Höhe eines Ortes abnehmen und im Allgemeinen deſto größer werden, je weiter ein Ort vom Aequator entfernt iſt. Aber ſelbſt Orten von gleicher geogr. Breite und in gleicher ſenkrechter Entfernung vom Niveau des Meeres entſprechen oft ungleiche barome-

triſche Schwankungen. Verbindet man auf einer Karte alle Orte, für welche dieſe Größe einerlei Werth hat, durch eine Linie, ſo erhält man ein Syſtem von Linien, die man iſobarometriſche nennt. Von einer ſolchen Karte laſſen ſich folgende Geſetze abſtrahiren: 1) Zwiſchen der Hudſonsbai, dem nördlichen Afrika, dem Süden von Hindoſtan einerſeits und der Südgrenze von Labrador, dem nördlichen Schottland und dem ſüdlichen Norwegen andererſeits liegen iſobarometriſche Linien von 2—14 L., d. h. an der ſüdlichen Grenze beträgt die mittlere monatliche Schwankung des Barometers nur 2 L, an der nördlichen hingegen 14 L. 2) Es ſcheinen hier wie bei den iſothermen Linien zwei in ſich zurücklaufende Linienſyſteme zu exiſtiren, aber die Mittelpuncte dieſer beiden Syſteme fallen nicht in Continente wie die Wärmepole, ſondern in die zwiſchen liegenden Meere.

Nachſtehende Tabelle enthält die Mittelwerthe der monatlichen Schwankungen des Barometers an verſchiedenen Stellen der Erde:

Ort.	Geogr. Breite.	Schwankung.
Batavia	6° 12′ S.	2.98 M m.
Tivoli (St. Domingo)	18 35 N.	4.11
Havanah	23 9	6.38
Calcutta	22 34	8.28
Teneriffa	28 26	8.48
Funchal	22 37	10 42
Cap der guten Hoffnung	33 55 S.	12.45
Rom	41 53 N.	17.15
Montpellier	43 36	18.02
Mailand	45 28	19.24
Wien	48 13	20.53
Frankfurt a. M.	50 6	20.04
Prag	50 5	21.54
Paris	48 50 N.	23.66
Mannheim	48 29	23.66
Moskau	55 46	24.05
Berlin	52 31	25.24
New-Haven	41 10	25.29
Jakuzk	62 2	25.92
London	51 31	27.88
St. Petersburg	59 56	29.24
Nani (Labrador)	57 8	32.35
Chriſtiania	59 55	33.05
Naes (Island)	64 30	35.91

189. Der Durchſchnittswerth der Monatmittel gibt den mittleren Barometerſtand des Jahres. Zur directen Beſtimmung deſſelben wären demnach von Stunde zu Stunde durch ein Jahr fortgeſetzte Beobachtungen nothwendig; doch gibt es auch hier ein ähnliches Erleichterungsmittel wie bei der Beſtimmung der mittleren Wärme. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß, wie ſchon geſagt worden, der zu Mittag beobachtete Barometerſtand zugleich ſehr nahe der mittlere Stand

für den betreffenden Tag iſt. Noch genauer erhält man dieſen Werth, wenn man das Barometer zweimal des Tages, nämlich um 10 Uhr Vormittags und um 9 Uhr Abends beobachtet, oder noch beſſer wenn man dieſes viermal des Tags thut, nämlich: Morgens um 9 Uhr, des Mittags, Nachmittags um 3 Uhr und Abends um 9 Uhr und aus den erhaltenen Werthen das Mittel nimmt. Das Jahresmittel ergibt ſich dann aus den täglichen Mitteln von ſelbſt. Dieſes iſt für jeden Ort zwar nicht vollkommen beſtändig, doch wechſelt es von Jahr zu Jahr nur ſehr wenig, z. B. in Paris in einem Zeitraume von 20 Jahren, nämlich von 1816 — 1825 nur um 4 Millimeter. Man kann allgemein annehmen, daß der mittlere Barometerſtand am Meeresſpiegel 337.5 P. L. betrage, doch hängt dieſer Werth von der geogr. Breite und Länge ab. Am Aequator beträgt dieſe Größe noch ſehr wenig über 336″. In einer Breite von 10° fängt der mittlere Luftdruck zu ſteigen an, wächſt mit der Breite und erreicht in 30 — 40° das Maximum ſeines Werthes, nämlich 338 — 339″. Von 40° an erfolgt wieder eine Abnahme, bei 50° beträgt er 337″, bei 60° etwa 336″; im hohen Norden ſcheint er nur 335″ zu betragen. Bei gleicher Breite iſt der Druck ſowohl in der ſüdlichen als in der nördlichen Halbkugel im atlantiſchen Meere größer als im großen Ocean. (Schouw in Pogg. Ann. 26. 395; Erman in Schumachers Jahrbuch für 1840.)

190. Nun erübriget noch zu unterſuchen, wovon die Vermehrung oder Verminderung des atmoſphäriſchen Druckes herrühre. Vorerſt iſt gewiß, daß die Wärme hiebei die Hauptrolle ſpiele. Aus der in 177 angeſtellten Betrachtung geht hervor, daß jede Erwärmung der Luft über die Temperatur der Umgebung eine Erhöhung der Luftſäule und ein Abfließen eines Theiles der Luft an die angrenzenden Stellen hervor bringe und ſomit eine Verminderung des Luftdruckes zur Folge haben müſſe. Es iſt leicht einzuſehen, daß eine locale Erkältung die entgegengeſetzte Wirkung hervorbringen werde, indem ſich in Folge dieſer eine Art Vertiefung an der entſprechenden Stelle der oberen Grenze der Atmoſphäre bildet, in welche ſich aus der Nachbarſchaft Luft hineinſtürzt. Mit dieſer aus der Theorie geſchöpften Anſicht ſtimmt auch die Erfahrung vollkommen überein. Beobachtet man einige Zeit hindurch zugleich das Barometer und ein im Freien aufgehängtes Thermometer; ſo findet man, daß faſt immer ein Steigen des Barometers mit einem Fallen des Thermometers zuſammentreffe. Wenn es ja geſchieht, daß das Barometer bedeutend ſteigt, während doch das Thermometer nur wenig fällt oder gar um etwas ſteigt; ſo wird man finden, daß in der Umgebung irgendwo ein bedeutendes Steigen der Temperatur Statt gefunden habe. Recht deutlich zeigt ſich dieſer Zuſammenhang aus nachſtehender Tabelle, aus der man erſieht, welche Temperaturänderung einem Steigen oder Fallen des Barometers an den beigeſetzten Orten entſpricht.

Aendert ſich der Barometerſtand um	ſo ändert ſich das Thermometer in		
	Ofen	Cambridge (Mattachuſets)	Eyafiord (Island)
	um Grade.		
+ 5″	— 3°.42	— 5°.59	— 2 .88
4	— 2 .55	— 3 .19	— 2 .35
3	— 1 .76	— 1 .86	— 1 .56
2	— 1 .15	- 1 .65	— 1 .00
1	— 0 .87	— 0 .72	— 0 .74
— 1	+ 0 .51	+ 0 .42	+ 0 .20
2	+ 0 .68	+ 1 .94	+ 1 .11
3		+ 2 .39	+ 1 .64
4	+ 2 .00	+ 2 .11	+ 2 .56
5	+ 2 .19	+ 2 .78	+ 3 .58

Eine andere Urſache der Barometerveränderungen liegt in der veränderlichen Menge der in der Atmoſphäre enthaltenen Waſſerdünſte. Der Barometerſtand gibt nämlich unter Einem den Druck der trockenen Luft und der darin enthaltenen Dünſte an; ändert ſich der Dunſtgehalt, ſo hat dieſes wohl keinen Einfluß auf den Druck der trockenen Luft, wohl aber auf den geſammten Barometerſtand und dieſer muß ſteigen oder fallen, je nachdem bei übrigens gleichen Umſtänden der Dunſtdruck größer oder kleiner geworden iſt. Meiſtens wirken beide Urſachen, die Aenderung der Temperatur und der Dunſtmenge zu gleicher Zeit, nur in ſehr weit ausgedehnten Continenten, wo ſich nicht mit jeder Temperaturerhöhung zugleich eine entſprechende Dunſtmenge bildet, wird die Temperatur allein ſich hauptſächlich wirkſam zeigen. Darum muß man bei der Ausmittlung des Antheiles, den an den Veränderungen des Barometerſtandes die Dünſte haben, wohl berückſichtigen, ob der fragliche Ort in das Gebiet eines Continental- oder eines Seeklima's gehöre.

191. Man iſt im Stande, mittelſt hygrometriſcher Unterſuchungen (I. 289 — 294) die Spannkraft des Waſſerdunſtes in der Luft zu beſtimmen und aus den gefundenen Zahlenwerthen die Geſetze abzuleiten, welche die Veränderungen des Dunſtdruckes befolgen. Man erkennt daraus, daß überall die Variation des Waſſerdunſtes an eine tägliche und eine jährliche Periode gebunden ſey. Bezüglich der täglichen Aenderung lehrt die Erfahrung, daß an den entſchieden zum Seeklima gehörigen, in der Nähe des Meeres gelegenen Stellen die Spannkraft des Waſſerdunſtes vom Morgen bis zur Zeit der höchſten Temperatur wächſt und von da an wieder bis zur Stunde der niedrigſten Temperatur abnimmt, mithin täglich ein Maximum und ein Minimum erlangt. Wenn nämlich mit Sonnenaufgang die Temperatur zu ſteigen anfängt, ſteigert ſich auch die Verdünſtung, und mit abnehmender Tageswärme läßt auch dieſe wieder nach. Entſtehen auch durch die ſtarke Erwärmung des Bodens aufwärts gerichtete Luftſtröme,

welche Dünſte mit ſich in die Höhe führen, ſo erſetzt ſie doch der in einem ſolchen Klima bald entſtehende Seewind. Anders verhält ſich die Sache in einem Continentalklima. Da wächſt wohl auch die Dunſtmenge mit der Temperatur, aber die durch den aufſteigenden Strom entführten Dünſte werden hier nicht durch horizontale Ströme erſetzt. Darum vermindert ſich die Dunſtſpannung von dem Zeitpuncte an, wo ſolche Ströme beginnen, und dieſes dauert fort, bis Nachmittags bei nachlaſſender Erwärmung des Bodens jene Ströme aufhören. Darum hat hier die Spannkraft der Dünſte täglich zwei Maxima und zwei Minima, und zwar erſtere um 9 Uhr Vormittags und um 9 Uhr Abends, letztere um 4 Uhr Nachmittags und gegen Sonnenaufgang. Im Winter, wo die Kraft der Sonne ſehr gering iſt, herrſcht auch an ſolchen Orten täglich nur ein Maximum um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufganges. Orte, deren Klima einen Uebergang vom Seeklima zum Continentalklima bezeichnet, wie z. B. Petersburg, haben zwar noch zwei Maxima und zwei Minima, aber das Maximum um 9 Uhr Vormittags und das Minimum um 4 Uhr Nachmittags iſt nur ſehr wenig hervortretend. Dieſe Geſetze hat man aus Beobachtungen zu Apenrade und Plymouth, Orte die entſchieden dem Seeklima angehören, andererſeits aus Beobachtungen zu Barnaul, Katharinenburg und Nertchinsk abſtrahirt.

Es geht aus dem ſo eben Geſagten hervor, daß die Spannkraft des Waſſerdunſtes in der Höhe oder auf Bergen ein anderes Geſetz befolgen müſſe, als an der Meeresfläche oder überhaupt im flachen Lande. In der Höhe gibt es überall täglich nur ein Maximum und ein Minimum. Bei den am Rigi angeſtellten Beobachtungen fand das Minimum bei Sonnenaufgang, das Maximum um 3 Uhr Nachmittag Statt, letzteres alſo gerade zur Zeit, wo die aufſteigenden Ströme nachzulaſſen anfangen und der geſammelte Dunſt wieder ſich zu ſenken beginnt.

192. Der Gang der Spannkraft des Dunſtes innerhalb der jährlichen Periode hat mit dem täglichen viele Aehnlichkeit. Allenthalben ſteigt die Spannkraft der Dünſte mit der Temperatur und hat daher wie dieſe außerhalb der Wendekreiſe jährlich ein Maximum und ein Minimum; erſteres tritt im Juli, letzteres im Jänner ein. Ungeachtet dieſes Geſetz ſowohl für ein Seeklima als für ein Continentalklima gilt, ſo iſt doch der Gang der Dunſtzunahme nicht in beiden Klimaten derſelbe, ſondern der Dunſt wächſt im Verhältniß zur Temperatur in einem Seeklima mehr als in einem Continentalklima.

193. In verſchiedenen Orten iſt bei übrigens gleichen Umſtänden der Druck des Waſſerdunſtes deſto kleiner, je größer die geogr. Breite des Ortes iſt, und zwar iſt die Abnahme des Dunſtdruckes mit wachſender Breite im Winter größer als im Sommer. Dieſes hat Erman auf ſeiner Reiſe um die Erde durch directe Beobachtungen ausgemittelt; es läßt ſich aber auch ſchon daraus entnehmen, daß die Quantität des im Laufe eines Jahres an einem Orte verdünſteten Waſſers deſto größer iſt, in je geringerer Breite derſelbe liegt. Man

kann dieſes durch Beobachtungen mittelſt des ſogenannten Atmometers ausmitteln, eines Waſſer enthaltenden und bis zum Waſſerſpiegel in einen größeren Waſſerbehälter eingeſenkten offenen Gefäßes, in welchem man die Höhe der durch Verdünſtung verſchwundenen Waſſerſäule an einer Scale meſſen kann. Der Dunſtdruck ſcheint auch von der geogr. Länge abzuhängen, wenigſtens erſcheint er bei gleicher Breite im atlantiſchen Meere von dem im großen Ocean ziemlich verſchieden. Nach aufwärts muß die Größe des Dunſtdruckes aus einleuchtenden Gründen raſch abnehmen.

Folgende Tabelle gibt die Höhe der in einem Jahre verdünſteten Waſſerſäule in W. Zollen ſo, wie ſie Verſuche, durch eine naturgemäße Hypotheſe ergänzt, angeben:

Geographiſche Breite	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Jährliche Verdunſtung	66.6	63.6	55.5	44.9	34.4	25.7	19.4	15.3	13.1	12.4

Der Druck des Dunſtes iſt unter einerlei Breite im großen (I) und atlantiſchen Ocean (II) in P. Linien nach Erman wie folgt:

Geographiſche Breite		0°	10°	20°	30°	40°	50°	Mittel
Dunſtdruck	I	9.00	8.36	6.95	5.73	4.26	3.11	6.26
	II	8.44	8.58	7.71	6.70	5.54	3.30	6.80

194. Wenn man die jedesmalige Spannkraft der Dünſte, durch die Höhe einer Queckſilberſäule ausgedrückt, von der Barometerhöhe abzieht, ſo erhält man den Druck der trockenen Luft für ſich, und indem man die Werthe dieſes Druckes zu verſchiedenen Zeiten an demſelben Orte oder zu derſelben Zeit an verſchiedenen Orten mit einander vergleicht, lernt man die Geſetze der Veränderungen im Druck der trockenen Luft kennen. Dieſe Geſetze ſtellen ſich folgendermaßen dar: 1) Der Druck der trockenen Luft ändert ſich wie jener der feuchten periodiſch und zwar befolgt er ſowohl eine tägliche als eine jährliche Periode. 2) Sowohl die täglichen als die jährlichen Veränderungen folgen der Temperatur und es herrſcht der größte Druck, wenn die Temperatur am niedrigſten, der kleinſte hingegen, wenn die Temperatur am höchſten iſt. Es gibt demnach in jeder der genannten Perioden nur ein Maximum und ein Minimum. Die Zeit des Eintrittes des einen und des andern ändert ſich von Monat zu Monat, was ſchon daraus zu entnehmen iſt, daß die Wendezeiten mit der Temperatur in ſo inniger Verbindung ſtehen.

Nach Erman hat der Druck der trockenen Luft in jeder Hemiſphäre in einer dem Aequator nahen Zone den kleinſten Werth und wächſt von da an gegen die Pole hin bis zu einer beſtimmten Breite, und zwar noch raſcher als der geſammte atmoſphäriſche Druck. Er erreicht in einer gewiſſen Breite (45°) ſeinen größten Werth und nimmt von da an weiter gegen den Pol hin nicht mehr ſo raſch ab, als dieſes mit dem geſammten Drucke der Fall iſt. Auch die geographiſche Länge zeigt einen Einfluß auf den Druck der dunſtloſen Luft. Es wäre zu wünſchen, daß man für jeden Breitengrad den mittleren Druck der Waſſerdünſte in der Luft angeben könnte; allein gegenwärtig ſind wir wohl noch ziemlich weit davon entfernt, dieſen Wunſch realiſiren

zu können. Nimmt man den Waſſerdunſt im Maximum ſeiner Spannung an, ſo erhält man folgende Reſultate:

Breite.	Druck des Dunſtes.
0″ — 15	16″ — 15″
15 — 30	15 — 11
30 — 45	11 — 5
45 — 70	5 — 1.6

195. Faßt man den Inhalt von 190 — 193 zuſammen, ſo findet man darin eine vollſtändige Erklärung der Geſetze der Veränderungen des Barometerſtandes. Die Luft wird durch Wärme verdünnt und dadurch ihr Druck vermindert. Dieſe Veränderung erreicht ſowohl in ihrem jährlichen als täglichen Gange nur ein Maximum und ein Minimum. Zugleich mit der Erwärmung tritt eine vermehrte Dunſtbildung ein und die Dünſte üben einen ſtärkeren Druck auf die Queckſilberſäule im Barometer aus. Je nachdem nun die Dünſte die Verminderung im Druck der trockenen Luft zum Theile oder ganz compenſiren oder gar übercompenſiren, erfolgt ein verſchiedenes Reſultat im Geſammtdrucke und man kann ſich ſichtlich überzeugen, daß auf ſolche Weiſe der Luftdruck zwei tägliche Maxima und Minima erlangen kann, wie ſolche in der That beobachtet werden. Nur da, wo der Dunſtdruck täglich nur ein Maximum und ein Minimum erlangt, einen mit der trockenen Luft gerade entgegengeſetzten Gang befolgt und die Wirkungen der Wärme auf die trockene Luft gerade tilgt, da verſchwinden die Variationen im Luftdrucke gänzlich. Dieſes iſt z. B. an den Küſten des indiſchen Meeres der Fall, wo nach Horsburgh in in der Regenzeit die täglichen Variationen des Luftdruckes gänzlich ausbleiben. (Dove in Pogg. Ann. 22. 219 und 493; 24. 205; 58. 177. Erman in Schumachers Jahrbuch für 1840. Kreil's aſtron. meteorol. Jahrb. 1. Jahrg.)

Man hat ſchon lange eine Einwirkung des Mondes und der Sonne auf den Barometerſtand vermuthet, weil dieſe Körper durch ihre anziehende Kraft auf die Atmoſphäre wirken und dadurch in derſelben eine Art Ebbe und Fluth erzeugen, wodurch die Geſtalt der Erde und die Baſis der Atmoſphäre verändert und ſomit auch die Anziehung der Erde zur Atmoſphäre modificirt wird. Nach der Theorie ſoll die hiedurch bewirkte Aenderung im Luftdrucke nur $\frac{1}{100}$ P. L. betragen, aber zweckmäßig benützte Beobachtungen ließen Kreil ſchon dieſe Wirkung der täglichen Bewegung des Mondes gleich $\frac{1}{10}$ P. L. erkennen, jene der Sonne hingegen drei- bis ſechsmal größer. Höchſt merkwürdig iſt die ebenfalls von Kreil zuerſt gemachte Bemerkung, daß die Wirkung des Mondes auf die Atmoſphäre bei ſeiner täglichen Bewegung im Sommer zwei Maxima und zwei Minima erzeugt und daß die Wendeſtunden, nach Mondeszeit gezählt (d. h an einer Uhr, die Mittag zeigt, wenn der Mond über dem Horizont, und Mitternacht, wenn er unter dem Horizont durch den Meridian geht), mit jenen übereinſtimmen, in welchen, nach Sonnenzeit ausgedrückt, die Wendungen des Barometerſtandes täglich eintreten. Im Winter wird aber nur ein tägliches Maximum und ein Minimum in der Wirkung des Mondes bemerkt. (Kreil's aſtron meteorol. Jahrb. 1. Jahrgang.)

Fünftes Kapitel.

Feuchtigkeitszuſtand der Luft und Waſſermeteore.

196. Es iſt aus I. 286 bekannt, daß die Spannkraft oder der Druck der in der Atmoſphäre enthaltenen Dünſte nicht den Feuchtigkeitszuſtand der Luft, d. h. die größere oder geringere Neigung derſelben, Waſſer abzuſetzen bedinge, ja daß bei größerem Dunſtdrucke ſogar eine größere Trockenheit herrſchen könne. Der Feuchtigkeitszuſtand hängt nämlich von dem Verhältniſſe der Spannkraft der vorhandenen Dünſte zu dem der beſtehenden Temperatur entſprechenden Maximum der Spannkraft ab und erlangt einen deſto größeren Werth, je mehr ſich die eine dieſer Spannkräfte der anderen nähert. Bezüglich des Feuchtigkeitszuſtandes lehrt nun die Erfahrung, daß derſelbe täglich einen größten und kleinſten Werth erlange und zwar erſteren zur Zeit der kleinſten, letzteren zur Zeit der größten Tagestemperatur. Die tägliche Variation iſt im Winter am kleinſten, im Frühling am größten. Im Laufe eines Jahres nimmt der Grad der Feuchtigkeit von ſeinem größten Werthe, der im Winter eintritt, bis zum Monat April, wo ſein Minimum Statt findet, ab, und ſteigt vom Monat April an wieder allmälig. In verſchiedenen Breiten hat die Feuchtigkeit zur ſelben Zeit verſchiedene Werthe; ſie nimmt nach Erman vom Aequator bis zur Breite von 20° ab und von da weiter gegen die Pole hin wieder zu Gegen oben nimmt die Feuchtigkeit nach Umſtänden bald zu, bald ab und es iſt in dieſer Beziehung kein allgemein gültiges Geſetz bekannt.

Der mittlere Feuchtigkeitsgrad auf dem Meere iſt in verſchiedenen Breiten im Winter und Sommer in P. L., wie nachfolgende Tabelle zeigt, wo das Maximum der Feuchtigkeit als Einheit angenommen iſt:

Geographiſche Breite . . .	0°	10°	20°	30°	40°	50°
Feuchtigkeit im Jahre . . .	0.843	0.827	0.796	0.828	0.840	0.865
» » Winter . .	0.843	0.813	0.812	0.847	0.861	0.879
» » Sommer . .	0.843	0.841	0.780	0.809	0.819	0.850

Die größte zwiſchen 0 — 55° Breite, 14 Fuß über dem Meere beobachtete Feuchtigkeit betrug 0.970, der Mittelwerth 0.834. Im atlantiſchen Ocean beobachtete Erman einige Male im Auguſt 1830 zwiſchen 35° und 37° nördl. Br eine Feuchtigkeit von nur 0.532 und im März 1830 bei 45° ſ. Br. 0.577. In London iſt der mittlere Feuchtigkeitsgrad nach Daniell 0.865, in Paris 0.597; in der aſiatiſchen Steppe Platowskaja fand Humboldt nach anhaltendem Südoſtwinde um 1 Uhr Nachmittags bei einer Lufttemperatur von 23°.7 C. die Feuchtigkeit = 0.17.

197. Die Feuchtigkeit erlangt meiſtens nur durch fortſchreitende Verdunſtung den größten Werth, manchmal aber auch durch Temperaturverminderung und durch Mengung ungleich feuchter Luftmaſſen von verſchiedener Temperatur. So wie nämlich die Temperatur durch irgend eine Veranlaſſung herabgeſetzt wird, rückt die Feuchtigkeit nä-

her an ihr Maximum. Mengen ſich z. B. zwei gleiche Luftmaſſen, deren jede den Feuchtigkeitsgrad 60° hat, wovon aber der einen die Temperatur 16°, der andern 4° zukommt, ſo geht daraus ein Gemenge hervor, welches mit Dunſt überſättiget iſt, indem die Spannkraft der Dünſte 5‴.507 betragen ſoll, welches mehr iſt, als das Maximum der Spannkraft ausmacht. Hieraus wird der große Einfluß der Winde auf die Feuchtigkeit der Luft begreiflich. Kämtz hat aus vielen von ihm in Halle angeſtellten Beobachtungen die jeder Windesrichtung entſprechende Feuchtigkeit für die verſchiedenen Jahreszeiten gefunden. Da man Grund hat zu glauben, dieſe Reſultate haben für das ganze mittlere Europa wenigſtens annäherungsweiſe Gültigkeit, ſo laſſe ich ſie in einer Tabelle zuſammengeſtellt folgen:

Wind.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbſt.
N.	89.5	75.0	67.6	78.7
NO.	91.2	72.3	67.4	82.6
O.	92.6	66.9	61.3	75,7
SO.	85.5	71.4	66.3	79.2
S.	83.0	70.3	67.4	76.2
SW.	81.9	70 3	69,9	78.6
W.	80.9	71.7	71.4	80.6
NW.	83,2	73,4	68.8	82,7

Man ſieht hieraus, daß im Winter der höchſte Feuchtigkeitsgrad dem Oſtwinde, der kleinſte dem Weſtwinde, im Sommer der höchſte Feuchtigkeitsgrad dem Weſtwinde, der geringſte dem Oſtwinde entſpreche.

198. Sobald die Dünſte das Maximum ihrer Dichte überſchritten haben, bilden ſie kleine Tröpfchen, welche die Luft verdunkeln und trübe machen, weil die auffallenden Lichtſtrahlen ſo häufig eine theilweiſe Reflexion erfahren. Sie bleiben in der Luft ſchweben, bis ſie eine gewiſſe Größe erreicht haben oder in die Nähe hygroſkopiſcher Körper kommen. Sie erhalten ſich in der Luft, ungeachtet ihre Dichte jene der Luft vielmal übertrifft, 1) weil ſie wegen ihrer feinen Vertheilung eine im Verhältniß zu ihrer Maſſe zu große Oberfläche haben und daher nur äußerſt langſam ſinken können; 2) weil immer wärmere Luftſtröme aufwärts gehen und dem Fallen der Waſſertheile entgegenwirken. Dieſe ausgeſchiedenen Waſſertheile erzeugen die bekannten wäſſerigen Lufterſcheinungen: Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee und Hagel.

199. Der Thau erſcheint als ein wäſſeriger Beſchlag an der Oberfläche der Körper im Freien. Ueber ſein Entſtehen verdanken wir Wells die meiſte Aufklärung. Seinen Erfahrungen gemäß zeigt ſich der Thau nach einem heitern Tage zwar ſchon Abends im beſchatteten Graſe, aber erſt nach Sonnenuntergang entſteht er reichlich und vermehrt ſich die ganze Nacht hindurch. Die Menge des gefallenen Thaues beträgt in heitern, windſtillen Nächten am meiſten, eine ge-

ringe Bewölkung mindert ihn, ein dicker Ueberzug des Himmels läßt ihn gar nicht entſtehen. Er fällt reichlicher nach heißen Tagen und bei feuchter Luft, als wenn die Wärme und Feuchtigkeit der Luft gering war, und überhaupt nach Mitternacht mehr als vor Mitternacht. Er überzieht bei übrigens gleichen Umſtänden jene Körper, die dem freien Himmel ausgeſetzt ſind, mehr als zugedeckte, in der Luft hängende mehr als auf dem Boden liegende, und Körper mit rauhen Oberflächen in größerer Menge als ſolche, deren Oberfläche glatt iſt. Ueber den letzteren Punct hat vorzüglich Harvey viele intereſſante Beobachtungen angeſtellt. Zu dieſen Erfahrungen fügte Wells noch die wichtige Entdeckung, daß jene Körper, die bethaut werden, immer eine geringere Temperatur haben, als die ſie umgebende Luft, und daß mit dieſem Unterſchiede der Temperatur die Menge der Bethauung zunehme. Dieſes läßt keinen Zweifel übrig, daß das Entſtehen des Thaues auf folgendem Hergange der Sache beruhe: Das Ausſtrahlen der Wärme bewirkt an den Körpern, welche dem freien, heiteren Himmel ausgeſetzt ſind, eine Verminderung der Temperatur, dieſe entziehen der angrenzenden Luftſchichte Wärme und machen, daß ihre Dünſte das Maximum der Expanſivkraft überſchreiten, in tropfbaren Zuſtand übergehen und ſich ſo an die nahen Körper abſetzen. Man kann die Menge des in einer gegebenen Zeit als Thau abgeſetzten Waſſers beſtimmen, wenn man ein metallenes Gefäß mit blankem Boden dem freien Himmel ausſetzt und es vor und nach dem Bethauen abwiegt. Flaugergues fand ſo, daß das im Jahre 1823 abgeſetzte Thauwaſſer zu Viviers den Boden auf drei Linien bedecken würde, wenn es ſich anſammeln könnte. (Bibl. univ. avril. 1824. An essay on Dew and several appearances connected with it; by W. Wells. London 1815.)

Wenn die Temperatur der Luft während der Nacht unter den Gefrierpunct ſinkt, ſo friert der Thau und erſcheint als Reif an Körpern. Man ſieht daraus leicht ein, daß ſelbſt dann ein Reif entſtehen kann, wenn die Temperatur der Luft ober dem Gefrierpuncte ſteht. Mehlthau, Honigthau ſind normalwidrige, von Pflanzen austretende Säfte und kein atmoſphäriſcher Niederſchlag.

Aus dem Vorhergehenden erklärt man ſich leicht: Warum der Thau und Reif im Frühling und Herbſt ſo reichlich fällt; warum es in der Nähe großer Wäſſer und überhaupt in waſſerreichen Gegenden ſo ſtark thaut; warum Niederungen ſo oft vom Reife heimgeſucht werden, während höhere Gegenden, wohin ſich die warmen und daher leichteren Luftſchichten erheben, nur bethaut werden; warum man Gewächſe durch eine geringe Decke, z. B. durch Reiſig, Rauch, vor Reif ſchützen kann; warum der Thau bei Aufgang der Sonne wieder verſchwindet ꝛc.

200. Waſſer, das ſo eben den ausdehnſamen Zuſtand verlaſſen hat und ſich in kleinen Partikelchen zwiſchen Lufttheilchen befindet, ſomit fein zertheilt in der Luft ſchwimmt und ſie trübt, bildet jenen Schwaden, den wir aus kochendem Waſſer aufſteigen ſehen, im Freien

aber Nebel und Wolken. Beide unterſcheiden ſich von einander nur durch ihre Höhe. Eine Wolke iſt ein hochſchwebender Nebel, der Nebel iſt eine auf der Erde aufliegende Wolke; man kann daher beide mit dem allgemeinen Namen einer Wolke belegen. Davon überzeugt man ſich, wenn man einen in Wolken gehüllten Berg beſteigt, denn da trifft man in der Wolkenregion Nebel an.

Die Wolken ſchweben keineswegs ruhig in der Luft, ſondern nehmen an den Bewegungen derſelben Theil, ſchreiten nach verſchiedenen Weltgegenden fort, heben und ſenken ſich. Daß die eigentlichen Wolken bald höher bald tiefer ſchweben, erkennt man daraus, daß ſie die Gipfel der Berge bald umhüllen, bald ſie dem Auge frei geben. Man meint, nur die feinſten Wölkchen haben eine Höhe von einer Meile und darüber; über dem atlantiſchen Ocean und dem ſtillen Meere haben Meſſungen die Höhe der Wolken zwiſchen 900 und 1400 Meter angegeben. Die Regen- und Gewitterwolken ziehen meiſtens ſehr tief, weil ſie dichter und daher ſchwerer ſind, als die übrigen, heben ſich aber wieder, wenn ſie einen Theil ihres Waſſers durch Regen, Schnee ꝛc. verloren haben. Im Sommer ſchweben die Wolken höher als im Winter und in der heißen Zone höher als bei uns. In der kalten reichen ſie faſt immer bis zum Boden herab und bilden jene Nebel, die den Schifffahrern ſo láſtig ſind. Das Treiben der Wolken geſchieht mit großer Geſchwindigkeit und nach einer Richtung, welche oft der des Windes in den unteren Regionen ganz entgegengeſetzt iſt.

Die Farbe der Wolken ſteht mit ihrer Dichte in Verbindung. Sehr dichte Wolken abſorbiren das Licht völlig und erſcheinen daher dunkel, dünnere laſſen es zum Theile durch und zerſtreuen es zum Theile, ſind daher mehr oder weniger weiß. Die der Sonne näheren und daher intenſiver beleuchteten Wolken gewähren nicht ſelten ein herrliches Farbenſpiel.

Die Ausdehnung nach Länge und Breite iſt bei einzelnen Wolken ſehr verſchieden, jedoch erſcheinen uns unter allen die Gewitterwolken am ausgedehnteſten. Wenn auch manchmal der ganze Himmel bewölkt erſcheint, ſo iſt dieſes die Folge mehrerer ſehr nahe ſtehenden Wolken, deren es gewöhnlich ſogar mehrere Schichten über einander gibt. Uebrigens hängt die ſcheinbare Ausdehnung einer Wolke, wie die eines jeden andern ſichtbaren Gegenſtandes, von ihrer Entfernung und von der Lage des Auges gegen ihren Ort ab. Die höchſten Wolken erſcheinen immer wie Faſern und Streifchen, ſind aber wahrſcheinlich nicht minder ausgedehnt, als die uns ſo nahen Regenwolken; die gegen uns ſchief ſtehenden Wolken erſcheinen lang und ſchmal, wiewohl ihre Ausdehnung nach allen Richtungen gleichmäßig ſeyn kann, weil ſie nach ihrer Breite geſehen verjüngt erſcheinen.

Die Dicke der Wolken läßt ſich nur bei jenen beſtimmen, die um Berge Gürtel bilden. Peytier und Haſſard fanden ſo eine Wolke 450 — 850 Meter dick. Das Anhäufen der Wolken am Ho-

rizont zu einer Zeit, wo ſich um das Zenith herum nur wenige Wölkchen zeigen, beruht auf einer optiſchen Täuſchung. Manchmal vergrößert ſich eine Wolke ſehr ſchnell, nicht ſelten vermindert ſich eine eben ſo eilig. Daran mag vielleicht die Elektricität einen Antheil haben; indeß ſieht man auch wohl ein, daß ſich auch in dem Falle eine Wolke vergrößern müſſe, wenn ſie durch den Wind in feuchte Luftſchichten von geringerer Temperatur getrieben wird. Die Vergrößerung der Wolken iſt nicht ſelten mit einem Steigen der Temperatur verbunden, weil Wolken der Erde die ausſtrahlende Wärme zurückſenden. Das Verſchwinden oder Abnehmen einer Wolke wird daraus begreiflich, daß ſie durch den Wind über Gegenden geführt wird, von denen warme oder trockene Luft hoch aufſteigt, oder daß dieſe ihr ſelbſt vom Winde zugeführt wird. Hieraus ſieht man auch ein, wie Winde die Wolken zerſtreuen können.

201. Ueber die Geſtalt der Wolken verdanken wir dem Engländer Howard die meiſte Aufklärung. Er fand, daß alle Wolken unter drei Hauptformen und vier abgeleiteten Formen erſcheinen. Die Hauptformen ſind: Die Federwolke (cirrus), die Haufenwolke (cumulus) und die Schichtwolke (stratus). Die abgeleiteten ſind: Die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), die federige Schichtwolke (cirro-stratus), die geſchichtete Haufenwolke (cumulo-stratus) und die gehäufte federige Schichtwolke oder Regenwolke (nimbus).

202. Die Federwolke (Fig. 401) beſteht aus zarten, parallel laufenden oder verwirrten, manchmal baum- oder lockenartig verzweigten Faſern. Sie iſt nach anhaltend ſchönem Wetter die *erſte*, welche das Blau des Himmels bleicht, zeigt ſich bei trockener Witterung mehr faſerig, bei feuchter und bevorſtehendem Regen mehr verwaſchen, ſie hat meiſtens eine Höhe von mehr als einer halben Meile und dürfte wohl nur aus Schneetheilen beſtehen.

Die Federwolke geht häufig durch Verdichtung in die federige Schicht- oder Haufenwolke über. Die federige Haufenwolke (Fig. 402) beſteht aus kleinen, weißen, meiſt runden, in Reihen geordneten Wölkchen, die man Schäfchen zu nennen pflegt. Sie erſcheinen vorzüglich groß und gut begrenzt am Abende warmer Sommertage und können nach anhaltend naſſer Witterung für Vorboten einer beſſeren Zeit angeſehen werden.

Die federige Schichtwolke (Fig. 403) charakteriſirt ſich durch Mangel an Dichte, durch ihre große Ausbreitung im Verhältniß gegen die Menge ihrer Subſtanz und durch die Veränderlichkeit ihrer Geſtalt. Sie erſcheint in der Höhe als eine große Menge zarter Wölkchen, hat aber, wenn ſie am Horizont ſteht, wo man ihren verticalen Durchſchnitt ſieht, das Ausſehen weit ausgedehnter Schichten. Oft überzieht ſie den ganzen Himmel oder einen bedeutenden Theil deſſelben wie mit einem weißen Schleier. Dieſe Wolkenart iſt es auch, welche, wenn ſie am weſtlichen Himmel bei Sonnenuntergang ſteht und dünn genug iſt, das herrliche Farbenſpiel der Abend-

röthe gibt, wenn ſie aber dichter iſt, einen trüben Sonnenuntergang verurſacht und einem anhaltenden, aber ſanften Landregen vorhergeht.

Die **Schichtwolke** (Fig. 404) iſt eigentlich das, was man **Nebel** nennt, nämlich eine wie Waſſer ausgedehnte, die Erde berührende Wolke. Sie entſteht häufig an Tagen, deren Temperatur gegen die der Nacht ſtark abſticht. Nach Sonnenuntergang lagert ſie ſich beſonders häufig über tiefe Gewäſſer, verſchwindet manchmal gänzlich, indem ſie wie ein feiner Thau herabfällt, ſteigt nicht ſelten in die Höhe und geht in eine Haufenwolke über. Ueber den Polarmeeren verweilen den ganzen Sommer hindurch dichte Nebel, die in eine Höhe von 150 — 200 Fuß reichen. Im Jahre 1783 überzog ein ſolcher Nebel, den man **Höhenrauch** nennt, faſt das ganze Jahr hindurch die meiſten Gegenden Europa's und ſtand wahrſcheinlich mit den in dieſem Jahre ſo häufigen unterirdiſchen Revolutionen in Verbindung. Die Entſtehung der Schichtwolke läßt ſich genügend auf folgende Weiſe erklären: Sobald in einer Gegend die Sonne untergegangen iſt, wird der Erde für die ausſtrahlende Wärme, beſonders wenn die Luft ruhig und der Himmel heiter iſt, kein Erſatz zu Theil, es nimmt daher ihre Temperatur ab. Am feſten Lande beſchränkt ſich dieſe Abkühlung immer auf die Oberfläche oder erſtreckt ſich doch nur in ſehr geringe Tiefe, im Waſſer hingegen, deſſen Temperatur über 3° R. iſt, ſinken die abgekühlten Theile der Oberfläche zu Boden, wärmere treten an ihre Stelle und werden auf gleiche Weiſe wieder abgekühlt, nur unter 3° R. iſt die oberſte zugleich die kälteſte Schichte; es erſtreckt ſich daher die Abkühlung auf die ganze Waſſermaſſe. Iſt nun dieſe hinreichend groß und hat ſie während des Tages eine Temperatur, welche der Temperatur der Luft gleich oder nur wenig geringer, jedoch über 3° R. iſt; ſo muß in einer heiteren und ruhigen Nacht ihre Temperatur an der Oberfläche höher ſeyn, als die des angrenzenden feſten Landes, und eben daher muß auch die Luft über dem Waſſer wärmer ſeyn als über dem Lande und mehr Dünſte enthalten; zugleich muß aber auch die Landluft beſtändig gegen das Waſſer hinſtrömen, die daſelbſt befindliche Luft abkühlen und ſo den Nebel erzeugen. Die Menge deſſelben muß ſich nach der Tiefe und nach der Temperatur des Waſſers richten. Dieſe Erklärung hat man durch Beobachtungen an vielen Flüſſen Deutſchlands und Italiens beſtätigt gefunden. Auch der Umſtand iſt dieſer Erklärung günſtig, daß nach **Harvey's** Erfahrungen (Journ of sc. Nr. 29) die Temperatur einer Nebelſchichte in der Mitte geringer iſt, als oben und unten. Da das feſte Land in der Regel häufig mit größeren oder kleineren Waſſerbehältern oder feuchten Stellen wechſelt, ja oft in einer großen Ausdehnung ſelbſt feucht iſt; ſo iſt wohl begreiflich, wie ſich oft ein Nebel weit über eine Gegend verbreiten kann. Er kann aber auch ſein Entſtehen der unmittelbaren Erkältung der Luft verdanken.

Die **Haufenwolke** (Fig. 405) zeichnet ſich durch ihre halbkugelförmige Geſtalt mit genau horizontaler Grundfläche aus. Sie

entſteht, wie die Federwolke, bei ganz heiterem Himmel als ein kleines unregelmäßiges Wölkchen, das allmälig zu einer bedeutenden Größe anwächſt, die kleineren, herum befindlichen gleichſam aufnimmt und ſich zu einem Wolkenberge vergrößert. Sehr merkwürdig iſt es, daß dieſe Wolken häufig an heiteren Tagen Morgens entſtehen, bis zur größten Tageshitze wachſen, am Abende wieder verſchwinden und ein reines Firmament zurücklaſſen. Die Urſache dieſer Erſcheinung liegt wahrſcheinlich in den aufſteigenden Luftſtrömen, welche Dünſte in die kälteren oberen Regionen bringen, wo ſie zu Wolken verdichtet werden. Dieſe ſenken ſich wieder, ſobald das Aufſteigen der wärmeren Luftſtröme ein Ende erreicht hat, kommen dabei in wärmere Regionen und gehen wieder in Dunſt über. Mit dieſer Anſicht ſteht die Erfahrung in gutem Einklange, daß die mittlere Wärmeabnahme der Luft nach oben ſchneller erfolgt als die Abnahme des Thaupunctes, indem die Lufttemperatur ſchon in einer Höhe von 400 — 500 Fuß, der Thaupunct aber erſt in einer Höhe von 700 Fuß um 1° C. abnimmt.

Nicht ſelten verliert die Haufenwolke ihre halbkugelförmige Geſtalt, nimmt nach oben unregelmäßig zu, wird dichter, hängt in Flocken über ihre Grundfläche herunter und bildet ſo die *geſchichtete Haufenwolke* (Fig. 406). Wenn ſich bei dem periodiſchen Entſtehen und Verſchwinden der Haufenwolke eine große Neigung derſelben zeigt, in die geſchichtete Haufenwolke überzugehen, hat man immer Regen zu befürchten.

Der Uebergang der jetzt beſchriebenen Wolkenarten in die *regnende Wolke* iſt mit merkwürdigen Erſcheinungen begleitet: Die in niederen Luftſchichten hinſchwebende Haufenwolke hält in ihrem Fortgange inne, vergrößert ſich durch Aufnahme der über ihr befindlichen Federwolken und verwandelt ſich ſo in eine geſchichtete Haufenwolke, die oben in lockige Faſern ſich endiget, immer dunkler wird und endlich Regen herabſchüttet.

203. Der *Regen* iſt eine Folge der Vergrößerung der einzelnen Waſſertropfen, welche die Wolken bilden, und kann durch mannigfaltige Umſtände herbeigeführt werden, wie z. B. dadurch, daß die Temperatur der Wolke fortwährend vermindert und ſo immer fort Dunſt zerſetzt wird, denn dadurch kommen ſich die einzelnen Waſſertröpfchen näher und fließen in größere zuſammen; ferner durch einen Wind, der eine Wolke an ein mechaniſches Hinderniß antreibt. Dadurch entſtehen jene furchtbaren Regengüſſe, die den Gebirgsländern ſo gefährlich ſind und *Wolkenbrüche* heißen. Dieſer Wirkung der Winde iſt keineswegs die allgemein bekannte Erfahrung entgegen, daß ein ſtarker Wind in den unteren Regionen den Regen hindere; denn es iſt hier immer vom oberen Winde die Rede, an dem es ſelten fehlt; der untere hingegen zerſtreut die kleinen, herabfallenden Tropfen und bewirkt, daß ſie wieder verdünſten, bevor ſie die Erde treffen. Daher kommt auch das Fallen einzelner Tropfen bei windigem Wetter. Uebrigens können wenige Waſſertröpfchen, die ſich nicht mehr in der

Luft erhalten können, einen gewaltigen Regen herbeiführen, weil ſie beim Sinken auf andere treffen und ſich mit ihnen zu einer größeren Maſſe vereinigen.

204. Die Regentropfen ſind in den oberen Regionen ſehr klein, vergrößern ſich aber allmälig im Herabfallen durch Waſſer, welches ſie durch ihre Erkältung aus der Luft ausſcheiden. Darum ſind auch die Regentropfen bei uns viel geringer im Durchmeſſer als in der heißen Zone, wo die Wolken wegen der größeren Luftwärme viel höher ſtehen. Oft ſollen ſie unter dem Aequator einen Zoll im Durchmeſſer haben, während ſie bei uns ſelten mehr als einige Linien groß ſind. Wegen des Widerſtandes der Luft erlangen ſie keine große Geſchwindigkeit.

205. Die Regenmenge iſt nach Zeit und Ort verſchieden. In der Regel beträgt die in einem Jahre gefallene Regenmenge deſto mehr, je höher die mittlere Jahrestemperatur, mithin je größer das Maß der Ausdünſtung iſt; ſie iſt daher am Aequator größer als bei uns und nimmt mit wachſender geographiſcher Breite ab. Höher gelegene Orte ſollen reichlichere Regen haben, als tiefere (Kaſtn. Arch. 6. 225), aber in derſelben Verticalen iſt die Regenmenge oben geringer als unten, wahrſcheinlich, weil ſich die kalten Regentropfen beim Fallen durch neuen Waſſerniederſchlag vergrößern. Uebrigens haben auf die jährliche Regenmenge auch der Zug der Gebirge, die Winde, welche Luftſchichten von verſchiedener Temperatur mit einander mengen, und andere Localitäten großen Einfluß. Offenbar muß es an jenem Abhange der Gebirge, den die Regenwolken zuerſt erreichen, auch mehr regnen als an dem, worüber die Regenwolken erſt ſchweben, wenn ſie ſchon einen Theil ihres Waſſergehaltes abgegeben haben. Da Regenwolken meiſtens aus Süd oder Weſt kommen, ſo iſt es begreiflich, daß im ſüdlichen Deutſchland und in Ungarn (dießſeits der Alpen) verhältnißmäßig weniger Regen fällt, als in der Lombardie und überhaupt jenſeits der Alpen. Selbſt die Vertheilung des jährlichen Regens auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten iſt an verſchiedenen Orten verſchieden. In der heißen Zone iſt der ganze in einem Jahre fallende Regen auf die Regenzeit concentrirt und tritt beim höchſten Sonnenſtande ein, wo die ſtarken aufſteigenden Luftſtröme den größten Zufluß von kälteren Gegenden nothwendig machen. In größeren Breitengraden der tropiſchen Zone, nämlich an den äußerſten Grenzen der Paſſatwinde, erzeugen die herabſinkenden Aequatorialſtröme die Winterregen. Je mehr man ſich von der tropiſchen Zone entfernt, deſto mehr vertheilt ſich der Regen in das ganze Jahr, aber ſelbſt da treten deutlich zwei Regenzeiten hervor und rücken immer mehr aus einander, je mehr man die Grenzen der Tropen verläßt, bis dieſelben in einer großen Breite wieder in ein Regenmaximum, das im Sommer Statt hat, zuſammen fallen. Man mißt die Regenmenge mittelſt eines regelmäßigen, zum Auffangen und Meſſen des Regenwaſſers beſtimmten Gefäßes, Regenmeſſer, Ombrometer,

worunter das von Horner angegebene beſonders ſinnreich iſt. (Schweigg. J. 52. 26.)

Nach Anderſon geben die Zahlen 73, 69, 59, 47, 35, 25, 19 14. 12, 11.5 die Regenmenge unter dem Aequator (Breite 0°) und in den Breiten von 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90° an; ſie drücken nämlich aus, wie viel Zoll hoch das in einem Jahre fallende Regenwaſſer die Erde decken würde, wenn es ſich anſammelte. An der Küſte von Malabar ($11^{1}/_{2}$° n. Br.) fallen jährlich 116 Z., in Havana 85″.4, in Bombay 73″.5, in Macao 63″. Im ſüdlichen Theile der großen Ebene Norditaliens, am Fuße der Apenninen, beträgt die jährliche Regenmenge nirgends über 32 P. Z; am ſüdlichen Abhange der Apenninen hingegen beläuft ſie ſich auf 42 — 43 Z. Am ſüdlichen Abhange der Alpen, in der Ebene der Lombardie und des venetianiſchen Königreichs fallen jährlich 54 — 55 Z., hie und da gar 80 — 90 Z. Waſſer, in der Mitte der Ebene aber nur 36 — 37 Z. Der Sommerregen beträgt zu Bologna $^{1}/_{2}$, zu Piſa $^{1}/_{4}$, zu Rom $^{1}/_{8}$ vom Herbſtregen, und zu Bologna und Piſa $^{1}/_{2}$, zu Rom nahe $^{1}/_{3}$, zu Palermo $^{1}/_{8}$, zu Liſſabon $^{1}/_{13}$ — $^{1}/_{14}$ des Winterregens. Im gemäßigten Klima fallen bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrade von 40° jährlich im Durchſchnitte 20 — 39″ Regen. In Cayenne fielen im Februar 151″, in der Miſſion St. Antonio de Javita am Orinoco, wo es oft 5 Monate ununterbrochen regnet, in 5 St. 21‴ und ein anderes Mal gar in 3 St. 14‴, in Bombay während den 12 erſten Tagen der Regenzeit 32″. Genf hat zweimal ſo viel Regen als Paris, Petersburg ſo viel wie Wien. In York fand man, daß ſich die Regenmengen an drei Stationen, deren eine 29 F., die andere 72′ 8″, die dritte 231′ $10^{1}/_{2}$″ über dem Spiegel der See lag, im Jahre 1832 — 1833 wie die Zahlen 661 : 853 : 1000, im Jahre 1833 — 1834 wie die Zahlen 582 : 772 : 1000 verhalten. In einzelnen Jahren wechſelt die Regenmenge ſehr ſtark. Die mittlere jährliche Regenmenge in Wien beträgt 16 P. Z. Im Jahre 1833 fielen aber nur 13.5 Z, im J. 1834 nur 10 Z., im J. 1835 aber 17,3 Z., im J. 1836 16 Z., im J. 1837 15 9 Z., im J 1838 endlich 18,7 Z. Regen. Längere Zeit hat man die Regenmenge von Matouba auf Guadeloupe, welche 22.85 P. F. beträgt, für die größte auf der Erde gehalten; neueſtens aber hat ſich herausgeſtellt, daß die von Mahabuleshwan (17° 59′ n. Br. und 73° 30′ öſt. L. von Greenwich, 4220 P. F. über dem Meere) noch viel größer ſey. Sie beträgt nach Sykes Angabe nicht weniger als 23.61 P. F. Dabei iſt merkwürdig, daß das nicht ferne davon, aber am Meere liegende Bombay nur eine Regenmenge von 93 P. Z. hat. Im ſüdlichen Europa fällt das Maximum des Regens auf den Frühling und Herbſt, in Deutſchland auf den Sommer Nach Kamtz iſt an der Weſtküſte Europa's die Regenmenge im Winter (December bis Februar) eben ſo groß, wie in den Sommer-Monaten; aber je weiter man ins Innere des Continents kommt, deſto vorherrſchender werden die Sommer-Regen. (Dove in Pogg. Ann. 35 375.)

206. Das Regenwaſſer iſt beſonders in den Monaten März und April rein, weil da wegen der geringeren Luftwärme noch keine fremdartigen Subſtanzen mit den Dünſten in die Luft geführt werden, es enthält aber ſelbſt in dieſen Monaten kohlenſaures Ammoniak und verdankt dieſem ſeine von deſtillirtem Waſſer ſo verſchiedene Beſchaffenheit, die ſogenannte Weichheit; in warmen Sommertagen hat es viele andere fremdartigen Subſtanzen beigemiſcht. Subſtanzen,

wie z. B. Samenſtaub, die durch Winde in die Luft geführt werden, fallen mit dem Regen wieder herab und erzeugen bei unwiſſenden Leuten die Meinung von Schwefel-, Blutregen u. ſ. w. Dieſelbe Bewandtniß hat es mit dem Regen der Thiere, z B. der Fröſche, die bei trockener Zeit im Straßenſtaube begraben liegen und nach einem Regen wieder erwachen, wohl auch vom Winde fortgeführt worden ſeyn können.

Zimmermann, der dem Meteorwaſſer eine große Aufmerkſamkeit widmete, fand das ſpecifiſche Gewicht deſſelben bei 14° R. gleich 1.00010 — 1.00130, und will deutliche Spuren von Kalk, Talk, Kali, Eiſen, Mangan, Salzſäure, Kohlenſäure und organiſchem Stoffe darin entdeckt haben. Nach Brandes enthielt das an einem Orte im Jahre 1825 aufgefangene Regen-Waſſer 2.57 Gran feſten Stoff (Schweigg. J. 43. 153). Nach Liebig erhält man, wenn man friſch aufgefangenes Regenwaſſer in einer Porzellanſchale mit Zuſatz von etwas Schwefelſäure oder Salzſäure bis nahe zur Trockenheit abdampft, immer Salmiak oder ſchwefelſaures Ammoniak. (Deſſen org. Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Phyſiologie. Braunſchweig 1840. S. 71.)

207. Wiewohl die Regenwolken in der Regel niedriger ſchweben als andere, ſo befinden ſie ſich doch meiſtens in der Region des ewigen Schnees. Gehen daher die Dünſte in tropfbaren Zuſtand über, ſo werden ſie auch bald zu Eis, thauen aber beim Herabfallen wieder auf, wenn die untere Luft eine hohe Temperatur hat, widrigenfalls fallen ſie aber in Geſtalt von Flocken herab und geben den Schnee. Das Regenwaſſer iſt daher meiſtens Schneewaſſer. Thauet der Schnee während des Falles nicht ganz auf, ſondern ſintert nur zuſammen, wie dieſes im Frühling und Herbſt oft geſchieht, ſo entſteht dadurch der Graupenregen. Man erklärt es ſich hieraus, warum es in niederen Gegenden regnet, wenn es auf hohen Bergen ſchneiet, warum ſich im Winter der Schnee bis an die Meeresfläche herab erſtreckt, warum es in heißen Gegenden gar nicht ſchneiet.

208. Wenn der Schnee nicht ſehr dicht fällt, erkennt man ſchon mit freiem Auge, daß er aus kleinen Sternchen beſteht, die meiſtens ſechseckig ſind; fällt er aber dicht, ſo hängen ſich mehrere ſolche Geſtalten an einander, und bilden dann die großen Flocken, an denen man ein Gewebe aus feinen Nadeln erkennt. Fig. 407 zeigt mehrere Schneeflocken im vergrößerten Zuſtande. Der Vermiſchung der Schneeflocken mit Luft verdankt der Schnee ſeine ſtarke Licht zerſtreuende Kraft und die blendend weiße Farbe; beigemiſchte, meiſtens vegetabiliſche Subſtanzen färben ihn aber nicht ſelten merklich roth; man fand ihn öfters auch ſchon leuchtend.

Folgende Tabelle gibt die Höhe an, zu welcher das Luftwaſſer jährlich ſteigen würde, wenn es nicht wieder verdünſtete oder eingeſaugt und zerſetzt würde.

Ort.	P. Zoll.	Ort.	P. Zoll.
Zu Abo	27.54	Zu Mannheim . .	20.6
» Algier . . .	25.32	» Maranhao . .	26.0
» Augsburg . .	35.9	» Middelburg .	31.8
» Bergen . . .	73.0	» Padua . . .	37 5
» Berlin . . .	19.3	» Paris . . .	20.0
» Bombay . .	93	» Piſa	34.5
» Delft	26.1	» Plymouth . .	29.1
» Domingo . .	11.3	» Rom	29.3
» Dordrecht . .	38.6	» Straßburg . .	25.9
» Edinburgh . .	21.6	» St. Petersburg	16 0
» Freiburg . .	28.4	» Stuttgart . .	23 9
» Göttingen . .	34.7	» Tübingen . .	25.0
» Haag	26.6	» Ulm	25.5
» Harderwyk . .	26.1	» Upmünſter . .	27.7
» Harlem . . .	23.2	» Upſala . . .	22.0
» Hohenheim . .	24.6	» Utrecht . . .	23.18
» Karlsruhe . .	25.5	» Venedig . . .	33.92
» Kendal . . .	60.5	Wälder des Ori-	
» Lanceſter . .	38.5	noco und Rio	
» Leiden . . .	28.34	Negro . . .	90—100
» Lund	17.39	Zu Wien	16 0
» Lyon	37.0	» Wittenberg . .	16.0
» Madeira . .	29.1	» Zürch	32.0

Siehe Hube über die Ausdünſtung und ihre Wirkungen in der Atmoſphäre. Leipzig 1790. Unterſuchungen über die Wolken und andere Erſcheinungen in der Atmoſphäre von T. Forſter. Leipzig 1819. Beiträge zur Witterungskunde von Brandes. Leipzig 1820.

Sechstes Kapitel.

Elektrometeore.

209. Sobald man die erſtaunlichen Wirkungen der künſtlich erregten Elektricität erkannt hatte, mußte ihre Aehnlichkeit mit denen, welche der Blitz hervorbringt, auf die Vermuthung leiten, daß auch in der Atmoſphäre freie Elektricität walte und daß die Erſcheinungen eines Gewitters von elektriſchen Entladungen herrühren. Man fand bald Mittel, dieſe Vermuthung durch Beobachtungen zur Gewißheit zu erheben. Franklin verſah einen ſeidenen Drachen, ähnlich dem bei uns als Spielzeug häufig vorkommenden Papierdrachen mit einem metallenen Stifte und ließ ihn an einer Hanfſchnur ſteigen, an der mittelſt eines Schlüſſels ein Seidenſtrang befeſtiget war, der mit der Hand gehalten wurde. Als eine Gewitterwolke herannahete, bemerkte er, daß die Faſern der Hanfſchnur ſich ſträubten. Er näherte den Knöchel der Hand dem Schlüſſel und erhielt einen ſtarken lichten Funken. Darauf fiel etwas Regen und die Schnur wurde leitender. Da folg-

ten nun viele Funken ſchnell auf einander, man konnte eine Leidnerflaſche laden und erhielt von ihr einen Stoß, überhaupt zeigte ſich dieſes Agens in allen ſeinen Wirkungen der Elektricität gleich. Romas wiederholte im Jahre 1756 dieſe Verſuche mit einem Drachen, der 550 Fuß hoch ſtieg, und erhielt Funken von 10 F. Länge und 1 Z. Durchmeſſer, alſo einen förmlichen Blitzſtrahl. Reichman in St. Petersburg ward das Opfer ſeiner Unvorſichtigkeit bei ähnlichen Verſuchen, ein Blitz erſchlug ihn. Seit dieſer Zeit wurde das Daſeyn von Elektricität in der Luft von vielen Naturforſchern fleißig und anhaltend nachgewieſen, unter andern hat Colladon gefunden, daß durch die von der Atmoſphäre zur Erde ſtrömende Elektricität die Magnetnadel abgelenkt werde. Man bemerkte allgemein, daß die aus der Luft erhaltenen elektriſchen Funken ſehr ſtechend ſeyen, ſelbſt wenn ſie nur 1 Z. lang ſind, und daß der Stoß, den ſie geben, mehr dem von einer Leidnerflaſche als dem von einem Conductor herrührenden gleiche. Heut zu Tage herrſcht über das Daſeyn der Elektricität in der Atmoſphäre gar kein Zweifel mehr. Man kann ſich von ihrem Daſeyn theils mittelſt iſolirter, an hohen Stangen angebrachter Drähte, theils mittelſt eines Drachen, vorzüglich leicht aber mittelſt einer etwa 1 — 2 Klafter langen Stange (die ſich wie eine Angelſtange bis zur Länge eines gewöhnlichen Spazierſtockes zuſammen ſchieben läßt) überzeugen, deren iſolirtes, mit einem glühenden Schwamme verſehenes Ende mit einem empfindlichen Elektroſkope oder mit einem Multiplicator, deſſen ein Drahtende bis zur Erde reicht, in Verbindung ſteht.

210. Nachdem man ſich überzeugt hatte, daß Gewitterwolken elektriſch ſeyen, blieb noch übrig zu unterſuchen, ob auch bei heiterem Himmel und in einem durch Gewitterwolken nicht geſtörten Zuſtande der Atmoſphäre Elektricität in derſelben vorhanden ſey. Dieſe Aufgabe haben mehrere Gelehrte zu löſen geſucht, mit der größten Beharrlichkeit und dem beſten Erfolge hat aber Schübler gewirkt. Die Reſultate ſolcher Unterſuchung beſtehen in Nachſtehendem: 1) Bei heiterem Himmel iſt die Luft in der Regel poſitiv, die Erde negativ elektriſch. 2) Die Luftelektricität unterliegt einem täglichen Wechſel und man kann innerhalb 24 Stunden zwei Maxima und zwei Minima dieſes Zuſtandes nachweiſen. Das erſte Minimum findet kurz vor Sonnenaufgang Statt. Nachdem die Elektricität eine kurze Zeit ſtationär geblieben iſt, fängt ſie an zu wachſen und erreicht ſchon wenige Stunden nach Sonnenaufgang ihr Maximum. Von da an nimmt ſie zuerſt langſam, dann immer ſchneller ab und erlangt einige Stunden nach Mittag den kleinſten Werth. Iſt dieſer eingetreten, ſo beginnt wieder eine Zunahme der elektriſchen Spannung der Luft, bis ſie bald nach Sonnenuntergang den zweiten größten Werth erlangt. 3) Die mittleren Werthe der Maxima und Minima ſind nicht immer dieſelben. Im Allgemeinen ſind die Morgen-Maxima und Minima ſtets kleiner als die vom Abend. Vergleicht man ſie, wie ſie ſich von Monat zu Monat ergeben, ſo findet man, daß ſie vom Jänner bis Juli zunehmen,

und vom Juli bis Jänner wieder abnehmen So wie während des Winters die Temperatur ſinkt, erhöhen ſich die Extreme der elektriſchen Spannung. 4) Auch die Wendeſtunden unterliegen Veränderungen. Nach Schübler rücken die Morgenwendeſtunden vom Winter gegen den Sommer hin näher an den Mittag, die Stunde des Abendminimum iſt aber unveränderlich und fällt wenigſtens zu Stuttgart vom Juni 1811 bis Jänner 1812 immer auf 2 Uhr Nachmittag. Die Stunde des zweiten Maximum nähert ſich vom Sommer zum Winter hin dem Mittag. 5) Bei bewölktem Himmel und während eines Windes, beſonders eines nördlichen, iſt die Luftelektricität faſt immer poſitiv, bei Regen und Schnee bald poſitiv bald negativ, aber immer ſtärker als bei heiterem Wetter, oft wechſeln die beiden Elektricitäten ſchnell hinter einander. Insbeſonders liefern ſtarke Platzregen mehr Elektricität als ſanfte Landregen. 6) Die Elektricität der Luft wächſt von unten nach oben. In geſchloſſenen Räumen, wie z. B. in Zimmern, ſelbſt in Straßen und kleinen Plätzen, findet man davon keine Spur, wahrſcheinlich wegen Mangel an hinreichender Iſolirung.

211. Ueber die Quelle der Luftelektricität iſt man noch keineswegs vollkommen im Klaren. Es iſt gewiß, daß die Verdünſtung Elektricität liefere, weil ſie immer mit Ausſcheidung der im Waſſer gelöſeten Subſtanzen verbunden iſt. Auch das Aufſteigen der Waſſertheile, welche die Wolken conſtituiren, in der Luft und auch ihr durch die Winde bewirktes Fortrücken in horizontaler Richtung, muß Entwicklung von Elektricität veranlaſſen, da man weiß, welch ausgiebige Quelle von Elektricität die Reibung des fein zertheilten Waſſers iſt (II. 214). Endlich iſt ſelbſt der Vegetationsproceß Urſache reichlicher Elektricitätsentwicklung, da nach Pouillet eine Flur von 25 Q. Klft. in einem Tage mehr poſitive Elektricität liefert, als man zum Laden der ſtärkſten Batterie braucht. Wie viel Antheil nun jede dieſer Urſachen an der in jedem Zeitpuncte vorhandenen Luftelektricität habe, läßt ſich nicht nachweiſen, ja es iſt immerhin möglich, daß es noch andere viel wirkſamere Quellen der atmoſphäriſchen Elektricität gebe als die eben erwähnten, und daß daher nur ein kleiner Theil des geſammten freien Quantums von Elektricität von den eben erwähnten Urſachen herrühre.

212. Am meiſten iſt die freie Luftelektricität in den Gewitterwolken angehäuft. Unterſucht man die Elektricität einer ſolchen mit dem in 209 erwähnten Apparate, wobei jedoch große Vorſicht nöthig iſt, ſo findet man Folgendes: Nähert ſich dem Leiter, welcher zum Auffangen der Elektricität beſtimmt iſt, eine Gewitterwolke, ſo gibt ſie ſich, ſelbſt wenn ſie noch eine halbe Meile entfernt iſt, durch verſtärkte Zeichen der Elektricität zu erkennen. So wie ihr Rand den Leiter berührt, erſcheinen in raſcher Folge und in großer Anzahl Funken. Nach mehreren Entladungen dieſer Art beginnt eine Pauſe von einigen Secunden oder Minuten, dann folgt eine gleiche Zahl elektriſcher Funken entgegengeſetzter Natur, alſo poſitiver, wenn die erſteren negativ waren und umgekehrt. Hierauf erſcheint nach einer abermali-

gen Unterbrechung eine weitere Reihe noch ſtärkerer Funken von erſte-rer Art und ſo geht es fort, indem die Entladungen jeder nachfolgen-den Reihe kräftiger ſind als die vorhergehenden, bis der mittlere Theil der Wolke den Leiter erreicht hat. Da herrſcht die ſtärkſte elektriſche Ladung und es folgen mächtige Funken mit ſtarkem Geräuſch eilig auf einander. So wie die Wolke weiter vorrückt, nehmen die Zeichen der Elektricität am Leiter wieder ab, es zeigen ſich aber wie vorhin auf einander folgende Zonen mit entgegengeſetzten Ladungen. Es iſt merk-würdig, daß nach Croſſe's Beobachtung die Luftelektricität vor der Annäherung einer Gewitterwolke beſonders gering iſt.

213. Selten bleibt eine Gewitterwolke längere Zeit iſolirt am Himmel, ſondern es erſcheinen deren mehrere, ziehen ſich einander an und nehmen an Dichte ſo ſtark zu, daß ſie ſtellenweiſe ein völlig ſchwar-zes Ausſehen bekommen. Sie gewinnen eine meiſtens abgerundete Ge-ſtalt und zeigen ſtarke Abſtufungen der Beleuchtung; ſie ſchweben meiſtens nicht ſehr hoch. Am Abhange der Pyrenäen fand man die untere Fläche einiger Gewitterwolken 3000 — 3300 Meter hoch, in Paris waren die niedrigſten 1000 — 2400 Meter, in Tobolsk 214 bis 800 Meter hoch. An ihrer inneren Fläche hängen flockige graue Nebel, die Luft wird ſchwül, ſehr elektriſch und die Luftelektricität geht ſchnell vom Poſitiven ins Negative über und umgekehrt; es er-folgt eine feierliche Stille, welche jeden Laut, der ſie unterbricht, ver-ſtärkt, hierauf folgen heftige Stürme, die von der Gewitterwolke aus nach allen Richtungen blaſen, in wirbelnder Bewegung Staub aufja-gen und dem Zuge der Wetterwolke folgen. Bald erleuchten Blitze, vom Donner verfolgt, den Himmel, bei jedem Schlage ſieht man be-deutende Bewegungen in den Wolken und faſt immer folgen ihnen Re-gengüſſe, nicht ſelten auch Hagel. Nach dem Regen nimmt die Hef-tigkeit des Gewitters ab, weil die Elektricität abgeleitet wird; die Ge-witterwolke wird fortgetrieben und zwar manchmal mit einer Ge-ſchwindigkeit, die 8 — 24 Meilen in einer Stunde beträgt, aber nicht immer nach der Richtung, nach welcher der untere Wind weht, ſondern oft ſogar nach einer ganz entgegengeſetzten Richtung; oft zer-theilt ſich die Wolke und die Luft erhält eine erfriſchende Kühle; letz-teres iſt ein ſicheres Zeichen, daß ſich die Luft völlig entladen habe; wenn dieſes fehlt, ſo iſt ein neues Gewitter im Anzuge oder man hat am folgenden Tagt eines zu gewärtigen. Oft endet ein Gewitter mit einer gleichförmigen Vertheilung der Wolken über den ganzen Himmel und darauf folgt gewöhnlich Landregen.

214. Der Blitz iſt elektriſches Feuer, das von einer Wolke zur andern oder zur Erde herabfährt. Im letzteren Falle ſagt man, es ſchlage ein. Man kann drei in der äußeren Geſtalt verſchiedene Blitze unterſcheiden. Die Blitze der erſten Art ſind ſcharfbegrenzte feurige, in ſogenanntem Zickzack gehende Linien von weißer, bläulicher, rother oder violetter Farbe. Sie theilen ſich oft in zwei Aeſte, ja man will ſogar ſolche mit drei Aeſten geſehen haben Dieſe Art Blitz fährt faſt immer zur Erde herab. Man kann ſie füglich Blitzſtrahl nennen.

Die zweite Art iſt viel weniger ſcharf begrenzt, ja erſtreckt ſich über eine ſehr bedeutende Fläche, beleuchtet oft nur den Rand einer Gewitterwolke und ſcheint gleichſam aus dem Inneren derſelben zu kommen. Ihr Licht iſt weniger intenſiv als das der erſten Art; ihre Farbe iſt meiſtens bläulich, jedoch auch manchmal blau und violett. Solche erſcheinen oft ſogar mehrere Stunden lang ſehr raſch auf einander. Blitze der dritten Art haben die äußere Geſtalt ſchnell hinfahrender feuriger Kugeln, bei welchen die feurige Bahn bloß eine optiſche Täuſchung iſt. Sie fahren immer nur von einer Wolke zur Erde herab und bleiben oft 2 — 10 Sec. ſichtbar, während Blitze der erſten und zweiten Art gewiſſermaßen nur einen Augenblick dauern. Sie ſind das, was der gemeine Mann einen Donnerkeil zu nennen pflegt.

Zu den fernern Lichterſcheinungen der Luftelektricität gehört auch das, was man Caſtor und Pollux, St. Elias oder Helena zu nennen pflegt und in dem Leuchten metallener Spitzen an irdiſchen Gegenſtänden beſteht. Auch das Leuchten der Wolken wird von Einigen hieher gezählt. Es herrſcht nämlich manchmal bei ganz bewölktem Himmel des Nachts eine größere Helle, als man vom durchſchimmernden Sternenlichte herleiten kann, da ſie ſelbſt intenſiver iſt, als die bei heiterem Himmel und ſternenvollem Firmamente.

215. Der Donner iſt der durch elektriſche Entladung hervorgebrachte Schall. Er beſteht bald aus einem einzigen, praſſelnden, tieftonigen Knall, bald aus einer auf einander folgenden Reihe dumpfer Schläge von verſchiedener Intenſität, bei denen der ſtärkere bald vorausgeht bald folgt. In der Regel wird der Donner erſt einige Secunden nach dem Blitze wahrgenommen und zwar iſt die Zwiſchenzeit deſto länger, je ferner die Gewitterwolke iſt, ſo, daß man daraus ſogar den Abſtand dieſer Wolke vom Beobachter berechnen kann. Beim einſchlagenden Blitze folgen Blitz und Donner ſehr raſch auf einander und es iſt der Donner mehr praſſelnd, der Blitz immer der erſten oder dritten Art, während eine Entladung von einer Wolke zur andern von einem rollenden Donner begleitet iſt und man faſt immer zweierlei Blitze bemerkt, einen ſolchen der erſten Art und gleich darauf ein mattes, durch die ganze Wolke oder doch einen Theil derſelben ſich erſtreckendes Licht. Es gibt Donner, bei denen wir keinen Blitz bemerken, wahrſcheinlich weil die Entladung zwiſchen zwei über einander befindlichen Wolken vor ſich geht und der Blitz nicht durch die unterſte Schichte durchſcheint; noch öfter wird man aber Blitze ohne Donner gewahr. Dieſe finden oft bei nur ſchleierartig überwölktem Himmel Statt und bilden das ſogenannte Wetterleuchten, oder ſie ereignen ſich bei ganz heiterem Firmamente. Im erſten Falle rühren ſie ohne Zweifel von ſchwachen elektriſchen Entladungen zwiſchen dem Gewölke her, im letztern ſind ſie der bloße Widerſchein eines unter dem Horizont Statt habenden Gewitters.

216. Donner und Blitz ſollen ſich als elektriſche Phänomene aus den in der Elektricitätslehre entwickelten Geſetzen vollkommen erklären laſſen. Dieſes iſt wohl größtentheils, jedoch nicht in allen Beziehun-

gen der Fall. Der **Blitz** der erſten Art iſt dem elektriſchen Funken ähnlich, welcher vom Conductor einer Elektriſirmaſchine oder von einer Leidnerflaſche ausgeht und unterſcheidet ſich von dieſem nur durch ſeine größere Ausdehnung; jener der zweiten Art gleicht dem elektriſchen Lichte in verdünnter Luft oder wie es von Spitzen ausſtrömt; der Blitz der dritten Art endlich läßt ſich nur mit einem durch die Elektricität von einem Körper zum andern übertragenen Stoffe in Vergleich ſtellen. Der **Donner** iſt das Reſultat der Erſchütterung der Luft durch die elektriſche Entladung. Sein Rollen kommt oft von Reflexion des Schalles an Wolken oder irdiſchen Gegenſtänden her. Aber nicht immer hat dieſes Phänomen beſagte Urſache, wie z. B. auf der offenen See und in großen Ebenen. Da muß es davon herrühren, daß der vielleicht meilenlange, meiſt ſogar zickzackförmige Blitzſtrahl an jeder Stelle ſeines Weges einen Knall erregt und dieſer ſich viel langſamer bis zu uns fortpflanzt als das Licht.

217. Alle weiteren Eigenſchaften des Blitzes und deſſen Wirkungen laſſen ſich aus ſeiner Natur erklären, da ſelbe auch, wiewohl in ſehr verringertem Maßſtabe an dem gewöhnlichen elektriſchen Funken bemerkt werden; denn der Weg, den der Blitz nimmt und wobei er immer dem beſſeren Leiter folgt, ſeine Farbe und der eigenthümliche Geruch, der ſich nach dem Einſchlagen bemerklich macht, alles dieſes zeigt auch eine gewöhnliche elektriſche Entladung. Auch daß er ſchlechte Leiter zertrümmert und durchbohrt, Metalle ſchmilzt und oxydirt, Erden verglaſet und brennbare Stoffe anzündet, Thiere betäubt, lähmt oder gar tödtet, kann den nicht befremden, der die Wirkungen der Maſchinenelektricität geſehen hat. Verglaſungen der benannten Art findet man hie und da in der Erde in röhrenartigen Formen, die man **Blitzröhren** nennt. (Gilb. Ann. 55. 121. **Ribbentrop** über Blitzröhren. Braunſchweig 1830.)

218. Der Umſtand, daß der Blitz ſich nach denſelben Geſetzen richtet, welche dem gemeinen elektriſchen Funken den Weg vorſchreiben, brachte **Franklin** auf die Erfindung der **Blitzableiter**. Dieſe ſind eiſerne, ſtarke (¹/₄ W. Z. im Durchſchnitte), an einem Ende zugeſpitzte und zur Verhütung des Roſtens vergoldete oder mit einem Platinende verſehene, meiſtens jedoch ohne Noth in eine Spitze auslaufende Stangen, die auf einem Gebäude ſo errichtet werden, daß ſie 3 — 4 Fuß über die höchſten Theile deſſelben hervorragen. Da ſich die Wirkſamkeit einer ſolchen Stange, nach **Charles**, auf einen Umkreis erſtreckt, deſſen Halbmeſſer der doppelten Höhe der Stange gleicht, ſo müſſen größere Gebäude mit mehreren ſolchen Stangen verſehen werden. Alle werden mit einander leitend verbunden und mittelſt eiſernen Stangen oder Kupferſtreifen oder nach **Yelin** mittelſt Meſſingdrähten in die Erde hinabgeleitet. Jede größere Metallmaſſe eines Gebäudes ſoll in leitender Verbindung mit dem Ableitungsapparate ſtehen, weil der herabfahrende Blitz in einer ſolchen einen ſecundären elektriſchen Strom (II 170) erzeugt, der ohne Ableitung ſo ſchädlich werden kann, wie der Blitz ſelbſt. Bei einer guten Einrich-

tung dieſer Stangen wird ein Gebäude vor Blitzſchlägen hinreichend geſichert ſeyn, jedoch kann ein Blitz vom Ableiter abſpringen, wenn er ſo ſtark iſt, daß ihn der Conductor nicht faſſen kann, oder wenn er das Metall ſchmilzt, oder endlich, wenn er in die Nähe einer Metallmaſſe kommt, die durch Induction elektriſirt iſt und nicht mit der Ableitungsſtange in Verbindung ſteht. Daſſelbe kann auch erfolgen, wenn häufiger Regen das Gewitter begleitet, welcher als natürlicher und höherer Ableiter wirkt. Selbſt im letzteren Falle wird nicht viel zu befürchten ſeyn, weil ein ſolcher Blitz in der Regel nicht zündet, indem ihn die Näſſe des Daches ſelbſt ableitet. Strohſeile kann nur der als Ableiter empfehlen, dem die Geſetze der Elektricität fremd ſind. Ueberhaupt darf man, um die Wirkung eines Blitzableiters von der rechten Seite zu betrachten, nicht vergeſſen, daß ein Ableiter nur in ſo ferne wirkt, als er durch Vertheilung elektriſch geworden iſt und die mit der Luftelektricität gleichnamige Elektricität in die Erde abgegeben hat. Darum iſt eine genaue Verbindung des ganzen Apparates mit der Erde ſo weſentlich; ja, wenn dieſe nicht Statt findet und ein Gebäude durch eine darüber hin ziehende Gewitterwolke durch Vertheilung elektriſirt iſt, ſo werden ſich beide Elektricitäten deſſelben nach Abzug dieſer Wolke mächtig zu vereinigen ſuchen, einen ſecundären Strom erzeugen und auf die Körper, die dieſer Vereinigung im Wege ſtehen, wie ein Blitzſchlag wirken. Man nennt dieſes Phänomen den Rückſchlag. (Siehe: Raimarus Vorſchriften zur Anlegung einer Blitzableitung in allerlei Gebäuden. Hamburg 1778. Ueber die Blitzableiter, ihre Vereinfachung und die Verminderung ihrer Koſten von Dr. Plieninger. Stuttgart 1835. Anweiſung zur Errichtung der Blitzableiter in Frankreich. Pogg. Ann. 1. 403. Ueber Gewitter. Arago in ſeinem Annuaire pour l'an 1838, p. 221.)

Die Kenntniß der Geſetze der künſtlich erzeugten Elektricität gibt ſchon die Regeln an die Hand, durch die man ſich am beſten vor Blitzſchlägen bewahret. Sie laufen im Allgemeinen darauf hinaus, daß man die Nähe guter Leiter möglichſt meide. Deßhalb ſoll man ſich im Freien unter keinen Baum flüchten, nicht der höchſte Gegenſtand der Umgebung zu ſeyn ſuchen, keine gar ſtarke Bewegung machen, damit die Ausdünſtung nicht zu ſehr erhöht werde, nicht zu nahe an Häuſern gehen, ſondern lieber die Mitte einer Straße ſuchen, ſich im Zimmer von Fenſtergittern, Glockenzügen, ja ſogar von den Mauern entfernen und lieber die Mitte eines Gemaches einnehmen, die Nähe rauchender Kamine meiden und möglichſt dunſtfreie Orte ſuchen u ſ. w.

219. Gewitter ſind in der Regel von wäſſerigen Niederſchlägen begleitet; Gewitterregen zeichnen ſich durch Heftigkeit und Größe der Tropfen aus, dauern aber nicht lange; oft ſind die Tropfen leuchtend. Merkwürdig iſt es, daß Gewitter ſo häufig Hagel mit ſich bringen. Man unterſcheidet drei Arten Hagel. Die eine Art beſteht aus durchſichtigen Eiskügelchen, eigentlich aus gefrorenen Regentropfen, die zweite aus ſogenannten Graupeln (Rieſel), d. h. kleinen, undurchſichtigen, weißen Schneekügelchen, von denen nur ſelten mehrere zuſam-

mengewachſen vorkommen; die dritte Art Hagel endlich iſt das, was man Schloßen oder Hagel im engeren Sinne nennt. Die Theilchen aus denen die Wolken beſtehen, ſind wahrſcheinlich kleine Schneeflocken. So lange auch unten eine niedere Temperatur herrſcht kommen ſie auch als Schnee zur Erde, wie ſchon früher erwähnt worden; iſt aber die obere Luft, in welche ſie zuerſt beim Herabfallen gelangen, wenig über dem Eispuncte, ſo ſintern ſie zuſammen, runden ſich im Fallen ab und erſcheinen auf der Erde als Graupeln. Schmelzen aber die Flocken gänzlich zu runden Tropfen in einer oben wehenden wärmeren Luft und gefrieren in der mittleren kalten Gegend abermals, ſo bilden ſie den Hagel der erſten Art. Darum erſcheinen Graupeln am häufigſten im Frühlinge oder Herbſt, Hagelwetter der erſten Art, wenn nach einer ſtrengen Kälte plötzlich hoch gehende Thauwinde zu herrſchen anfangen. Die eigentlichen Schloßen haben einen undurchſichtigen Schneekern, um den ſich durchſichtige Eisſchalen, die ſelbſt wieder mit Schneehüllen abwechſeln, gelagert haben. Es gibt ſogar Hagelkörner; die eine fremdartige Maſſe (Luft, Sand, Spreu ꝛc.) zum Kerne haben. Die äußere Geſtalt der Hagelkörner iſt pyramiden- oder birnförmig, an der unteren Seite halbkugelförmig gerundet; ihre Größe wechſelt von 1 L. bis zu mehreren Zollen im Durchmeſſer, ihr Gewicht wächſt nicht ſelten zu $^1/_2$ — 1 Pfund an. Schwerere Hageltheile ſind wohl nur Aggregate einer großen Anzahl einzelner Körner.

Hagelkörner dieſer Art (Schloßen) fallen in der Regel nur bei Gewittern und da ſeltener in der Nacht als bei Tage. Sie ſind in der heißen Zone bis zu einer Höhe von 1 — 2000 F. eine große Seltenheit, in größeren Höhen finden ſie aber ſchon ziemlich häufig Statt. In größeren Breiten gibt es allenthalben Hagel, vorzüglich zwiſchen dem 40 — 55° Breitengrade. Sie erſtrecken ſich immer nur auf einen kleinen Raum, der überdieß meiſt ſchmal und lang iſt. Manche Gegenden ſind dem Hagel viel mehr ausgeſetzt als andere.

Dem Hagel geht meiſtens eine hohe Temperatur, die nach oben raſch abnimmt, vorher, das Barometer fällt wahrſcheinlich in Folge des vorherrſchenden Südwindes und ſteigt darauf wieder ſtark, indem der ſüdliche Wind von einem nördlichen verdrängt wird. Die Wolken haben ein aſchgraues oder eigenthümlich gelbliches Anſehen, es herrſcht in den unteren Luftſchichten eine beſondere Windſtille.

220. Ueber die Entſtehung des Hagels haben ſehr verdiente Gelehrte, wie z. B. Volta, v. Buch, Lichtenberg ꝛc. ihre Anſichten an den Tag gelegt, ohne daß einer derſelben ſich eines allgemeinen Beifalls zu erfreuen hätte. Beim Hagel kommt es vorzüglich darauf an, zu erklären, wie bei der größten Sommerhitze ſo große Eismaſſen entſtehen können. Zu dieſem Behufe nimmt Volta an, daß im Sommer die Wolken ſehr hoch ſteigen und in ſehr trockene Luftſchichten kommen. Beſcheint ſie nun die Sonne, ſo entſtehen an ihrer oberen Fläche Dünſte, die in die Höhe ſteigen, aber dabei in kältere Luftſchichten gelangen und dort wieder zu einer Wolke verdichtet werden.

Dieſe zwei über einander ſchwebenden Wolken müſſen entgegengeſetzte Elektricität haben, und zwar die untere — Elektricität, die obere + Elektricität; die in der unteren Wolke angefachte Verdünſtung bindet Wärme und bringt die Waſſertheile in derſelben zum Gefrieren. Die ſo entſtandenen Eisſtücke werden zwiſchen den zwei elektriſchen Wolken abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen, wie leichte Körper beim elektriſchen Tanze, und dadurch allmälig vergrößert, bis ſie die Elektricität der Wolken nicht mehr erhalten kann, wo ſie dann herabfallen. Gegen dieſe Anſicht ſpricht aber, daß nach Gay-Luſſac's Verſuchen bei einer Temperatur über 8° C. ſelbſt in trockener, geſchweige erſt in der gewöhnlichen, Dünſte enthaltenden Luft, durch Verdünſtung keine ſo große Kälte erzeugt werden kann, wie ſie zur Hagelbildung Noth thut, daß noch Niemand, ſo viele ſich auch in Hagelwolken befanden, das Oſcilliren der Hagelkörner beobachten konnte (Lecoc beobachtete wohl, als er ſich ſelbſt in den Wolken befand, eine raſche Rotationsbewegung der Hagelkörner), daß niemals Hagelkörner unter hoch gelegenen Felſenvorſprüngen, Bäumen ꝛc., wohin ſie doch bei ihrem Hin- und Herhüpfen gelangen müßten, gefunden wurden, daß ſelbſt der elektriſche Tanz, dem das Oſcilliren der Hagelkörner ähnlich ſeyn ſoll, zwiſchen einer Metallplatte und einer Waſſerfläche nicht vor ſich geht ꝛc. Nach v. Buch entſteht an Stellen, wo ſich die Erde ſehr ſtark erhitzt, ein aufſteigender Luftſtrom, der die feuchte Luft zu einer ſolchen Höhe emporführt, daß ſchon beim Aufſteigen und noch mehr in der oberſten Stelle ſehr viel Waſſer daraus ausgeſchieden wird, das in Tropfen herabfällt, verdünſtet, gefriert, durch neuen Dunſtniederſchlag aus der Umgebung vermehrt wird, wieder gefriert, und ſo Hagelkörner bildet. Auch mit dieſer Anſicht ſteht die Wärmebindung beim Verdunſten nicht im Einklange, indem beim gewöhnlichen Feuchtigkeitszuſtande der Luft durch Verdünſtung keine ſolche Kälte entſtehen kann; man begreift nicht, wie ſich beim Herabfallen der Anfangs gewiß nur kleinen Hagelkörner ſo große, als ſie bereits beobachtet worden ſind (zu Maſtricht fielen am 3. Auguſt 1827 Eisſtücke von 6 Z. Durchmeſſer, in Padua am 26. Auguſt 1835 Stücke von 17 Centimeter Durchmeſſer, zu Clermont im Juli 1835 ellipſoidiſche Körner von der Größe eines Hühnereies), bilden können; wie ein Hagelfall möglich ſey, der ſich über ganze Länder erſtreckt (Arago erwähnt eines ſolchen Falles, der ſich durch ganz Frankreich bis nach Holland erſtreckte) ꝛc. Man muß demnach die Bildung des Hagels zu den bis jetzt unerklärten Phänomenen zählen.

Es iſt leicht einzuſehen, daß es Hagelableiter nicht in dem Sinne geben könne, wie Blitzableiter. Eiſerne, im Freien aufgerichtete Stangen, die man als ſolche empfahl, können die Elektrictiät an ſo hoch ſchwebenden Wolken nicht ableiten, wie die ſind, worin ſich der Hagel bildet, und daher ſelbſt nach Volta's Anſicht auch nicht die Bildung desſelben hindern; iſt er aber bereits gebildet, ſo können ſie ihn höchſtens durch Einſaugen der Elektricität zum Fallen bringen und daher mehr zu- als ableiten. Sollte aber, gegen unſere theoretiſche Einſicht, ihre Wirkung ſo groß ſeyn, als man hie und da behaup-

tet; ſo bleibt es unbegreiflich, daß Bäume oder Blitzableiter nicht auch zugleich Hagelableiter ſeyn ſollten. Daß ſie aber dieſes nicht ſind, lehrt die Erfahrung alljährlich, indem beholzte Gegenden und große, mit vielen Blitzableitern verſehene Gebäude eben ſo gut vom Hagel getroffen werden, wie das flache Land mit ſeiner niederen Vegetation.

221. Zu den elektriſchen Erſcheinungen wird auch das **Nordlicht** gezählt. Dieſes zeigt ſich bisweilen in der Nordgegend des Himmels als eine dunkle Wolke in Geſtalt eines kreisförmigen, vom Horizont begrenzten Segmentes, deſſen Mittelpunct im magnetiſchen Meridiane zu liegen ſcheint und das mit einem hellen Ringe umgeben iſt, aus welchem von Zeit zu Zeit häufige Lichtbüſchel von verſchiedenen Farben nach allen Richtungen ausfahren, ſich manchmal bis zum Zenith erſtrecken, daſelbſt eine Art Krone bilden, deren Mittelpunct in der verlängerten Axe einer frei ſchwebenden Magnetnadel gegen Süden hin zu liegen ſcheint. Einige beſonders ſtarke Nordlichter ſollen auch ein Geräuſch verbreitet haben, wie das iſt, welches ein Luftzug verurſacht, doch wird dieſes von Einigen gänzlich geläugnet. Fig. 408 ſtellt ein Nordlicht vor. Man ſieht es in den Ländern von größerer Breite häufiger und ſchöner als bei uns, ja wir ſehen nur jene Nordlichter, die hoch genug aufſteigen, um über unſeren Horizont zu kommen. Aber auch nicht jede Gegend von großer geogr. Breite iſt dem Erſcheinen der Nordlichter gleich günſtig. Nach Einigen ſollen in Sibirien und in Nordamerika mehr Nordlichter ſichtbar ſeyn, als im nördlichen Europa. An demſelben Orte iſt manches Jahr reicher an Nordlichtern als ein anderes, vielleicht befolgen ſie eine beſtimmte Periode. Eine ähnliche Erſcheinung findet man auch am Südpole, und nennt ſie **Südlicht**.

222. Zur Erklärung dieſer merkwürdigen Erſcheinung haben **Halley**, **Euler**, **Mairan**, **Franklin**, **Hell**, **Lichtenberg**, **Dalton**, **Biot**, **Hanſteen** das Ihrige beigetragen, ohne doch eine genügende Theorie zu geben. Man kann nur bis jetzt mit Gewißheit Folgendes ſagen: Weil das Nordlicht nicht wie die Sterne eine tägliche Bewegung von Oſt nach Weſt zeigt, ſo muß es an der Axendrehung der Erde Theil nehmen und daher in der Atmoſphäre ſeinen Sitz haben. Die größte Höhe eines Nordlichtes ſoll 25000 Meter ſeyn. Es afficirt, der Erfahrung gemäß, häufig aber nicht immer die Magnetnadel und ändert ihre Abweichung, indem es ihr Nordende abſtößt, wirkt aber auf nicht magnetiſche, z. B. kupferne Nadeln, gar nicht, hat dabei mit dem Ausſtrömen der Elektricität viele Aehnlichkeit, und läßt ſich nach **Thienemann** gerade da am häufigſten ſehen, wo die wenigſten Gewitter Statt finden. Es muß demnach die Elektricität einen Antheil an ſeiner Erſcheinung haben. Doch hat man während eines Nordlichtes keine ungewöhnliche Stärke der Luftelektricität wahrnehmen können. Wichtig iſt **Hanſteen's** Erfahrung, daß kurz vor dem Eintritte eines Nordlichtes der Erdmagnetismus eine ungewöhnliche Stärke hat, die aber gleich nach dem Beginne des Nordlichtes abnimmt und unter die gewöhnliche Stärke herabſinkt.

Aus allem dieſen geht hervor, daß das Nordlicht in einer elektriſchen Entladung beſtehe, über deren nähere Natur erſt weitere Beobachtungen die nöthige Aufklärung geben müſſen. (Zeitſchr. 7. 242; 8. 110; 9. 212.)

Siebentes Kapitel.

Lichtmeteore.

223. Es gibt viele Meteore, die ihr Entſtehen ganz den Modificationen des Lichtes beim Durchgange deſſelben durch die Luft verdanken. Die vorzüglichſten derſelben ſind: 1) die Geſtalt und Farbe des Firmamentes, 2) die Morgen- und Abendröthe, 3) das Funkeln der Sterne, 4) das ſogenannte Waſſerziehen der Sonne, 5) die aſtronomiſche Strahlenbrechung und Luftſpiegelung, 6) Höfe um die Sonne, den Mond und um die Fixſterne; 7) Nebenſonnen und Nebenmonde, 8) Regenbogen, 9) das Zodiakallicht.

224. Die atmoſphäriſche Luft gehört zwar zu den durchſichtigſten Körpern, die man kennt, aber ihre Durchſichtigkeit iſt doch nicht vollkommen. Wäre ſie dieſes, ſo müßte das Firmament völlig ſchwarz erſcheinen und Sonne, Mond und Sterne würden auf völlig dunklem Grunde geſehen werden. Bekanntlich erſcheint der Himmel nur von hohen Bergen aus, beſonders im heißen Klima, während der trockenen Jahreszeit völlig dunkel und faſt ſchwarz, bei uns aber wird er ſelbſt unter den günſtigſten Umſtänden nur dunkelblau geſehen. Erſteres iſt der Fall, weil unter den erwähnten Umſtänden die Luft nur ſehr wenig Licht reflektirt, letzteres weil die Menge des reflektirten Lichtes größer iſt und es die Natur der Luft mit ſich bringt, blaue Strahlen zu reflectiren, ſo wie z. B. eine Lakmuslöſung blaues, eine Gummiguttelöſung gelbes Licht reflectirt. Das blaue Firmament iſt alſo die ſichtbar gewordene Luft; dieſes erſcheint uns wie ein ſphäriſch gekrümmtes Gewölbe um die Erde geſpannt, weil es für uns keinen Grund gibt, eine Stelle für näher zu halten als die andere; nur um das Zenith herum erſcheint uns das Blau des Himmels geſättigter, darum halten wir auch dieſen Theil des Firmamentes für näher, ſo daß das ganze Firmament wie eine am Scheitel etwas platt gedrückte Halbkugel ausſieht.

225 Bekanntlich erſcheint ſelbſt der wolkenloſe Himmel nicht immer gleich intenſiv blau, ſondern ſeine Farbe wechſelt von einem mehr oder weniger dunklen Blau durch unzählige Abſtufungen bis zum völligen Milchweiß. Der Grund davon liegt hauptſächlich in dem Waſſergehalte der Luft. So lange dieſe nur Waſſer im ausdehnſamen Zuſtande enthält, iſt ſie völlig durchſichtig, ja in höherem Grade, als wenn ihr Dünſte fehlen; ſo wie aber eine Zerſetzung der Dünſte eintritt und die Luft tropfbares, wenn auch wie immer fein zertheiltes Waſſer enthält, vermindert ſich die Durchſichtigkeit der Luft, dieſe zer-

ſtreuen nicht mehr allein blaue, ſondern auch andere Strahlen und ihre Farbe im reflectirten Lichte wird lichtblau und endlich ganz weiß Im letzteren Falle iſt ſie zugleich undurchſichtig (trübe). Aus dieſem Sachverhalte erklärt es ſich, warum große Durchſichtigkeit der Luft, ungewöhnliche Nähe ſonſt ferner Gegenſtände auf bevorſtehende naſſe Witterung ſchließen läßt. Man hat eigene Inſtrumente um die Bläue des Himmels zu beſtimmen; ſie heißen Cyanometer. Sauſſure hat zuerſt ein ſolches conſtruirt.

Sauſſure's Cyanometer beſteht aus einer in 51 Felder eingetheilten Platte, deren Farbe vom lichteſten bis zum dunkelſten Blau wechſelt. Man erhält ſie durch Vermiſchung des Blau mit Weiß oder Schwarz in verſchiedenen, beſtimmten Verhältniſſen. Die Zahl des Feldes, deſſen Blau mit dem des Himmels übereinſtimmt, gibt den Grad der Bläue des letzteren an. Kämtz hat ein anderes Cyanometer angegeben (deſſen Vorleſungen über Meteorologie. Halle 1840. S. 489).

Legt man eine Papierſcheibe, wovon ein Sector blau der übrige Theil weiß iſt, auf einen Kreiſel und ſetzt dieſen in ſchnell drehende Bewegung; ſo erſcheint das Papier lichtblau und zwar deſto lichter, je kleiner der blaue Sector gegen den weißen Theil iſt. Bereitet man ſich mehrere Papierſcheiben dieſer Art, bei denen der blaue Sector immer in einem gewiſſen Verhältniſſe größer wird, ſo erhält man durch ſelbe Prototype für verſchiedene Grade der Bläue, die man zugleich durch Zahlen ausdrücken kann. Sucht man jene Scheibe, deren Farbe mit dem jedesmaligen Blau des Himmels übereinſtimmt, ſo kann man die Zahl, welche das Blau der Scheibe bezeichnet, als für die dem Blau des Firmamentes entſprechende anſehen. (Holgers Zeitſchr. 1. 201.) Leslie beſtimmt die Durchſichtigkeit des Raumes durch ein Differenzialthermometer, das eine vergoldete Kugel hat und mit der anderen im Brennpuncte eines paraboliſchen Hohlſpiegels ſteht. Dieſe Kugel erkaltet deſto mehr, je heller der Himmel iſt. Er nennt dieſes Inſtrument Aethrioſkop.

226. Wenn der weſtliche Himmel heiter oder nur mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen iſt, ſo ziert ihn nach Sonnenuntergang die herrliche Naturerſcheinung, die Abendröthe, deren Farbe nach der verſchiedenen Reinheit des Firmamentes von Gelb und Hellroth bis zum Dunkelroth wechſelt Wenn nämlich die Sonne dem Untergange ziemlich nahe iſt und leichte Wolken am Horizont ſtehen, ſo erſcheinen dieſelben im Oſten roth. So wie die Sonne tiefer ſinkt, färben ſich auch noch die weſtlichen dünnen Wolken mit dem Abendroth und die ganze Abendgegend erſcheint orange; dichtere, niedrigſchwebende Wolken ſind mit herrlichem Purpur bekleidet, während höher ſchwebende noch weiß erſcheinen. Nach Sonnenuntergang ſieht man, wenn am Tage das Firmament ſchön blau war, ein zartes Roth am Himmelsgewölbe und im Oſten, der Sonne gegenüber, einen dunklen, bogenförmigen Raum mit tieferem Blau, über dieſem einen röthlichen und noch höher hinauf einen weißen Bogen. Ueber dieſem erſcheint das gewöhnliche Blau des Firmamentes, das gegen Weſten hin in mancherlei Abſtufungen in die Farbe der Abendröthe übergeht. Alle dieſe Erſcheinungen treten mehr und weniger deutlich hervor und ihre größere oder kleinere Entwicklung hängt von der Stellung der Wolken,

von der Durchſichtigkeit der Luft und ſelbſt von den am weſtlichen Horizont befindlichen irdiſchen Gegenſtänden ab. Am Morgen zeigt ſich vor Sonnenaufgang unter ähnlichen Bedingungen an der Oſtſeite dieſelbe Erſcheinung und heißt **Morgenröthe**. Dieſes Phänomen hat man verſchieden zu erklären geſucht und die mannigfaltigſten Hypotheſen zu dieſem Ende ausgeſonnen; am wahrſcheinlichſten rührt es von dem Umſtande her, daß Waſſerdunſt in einem beſonderen Stadium ſeiner Zerſetzung oder vielleicht bei einer beſtimmten Größe und Dichte der ausgeſchiedenen Waſſertheile im durchgelaſſenen Lichte gelblich roth erſcheint und das Licht der auf- oder untergehenden Sonne gerade ſolche Luftſchichten durchfahren muß. Man ſieht dieſes am ſchönſten wenn man über das Dampfventil eines Locomotives, aus welchem ſo eben Dampf ſtrömt, auf die Sonne ſieht, ſo daß das Licht nur ins Auge kommen kann, wenn es durch den Dampfſtrahl geht. Einige Fuß über dem Ventil erſcheint die Sonne orangeroth, in größerer Entfernung davon aber, wo die Waſſerkügelchen größer ſind, in natürlicher Farbe. Es iſt bemerkenswerth, daß beſagtes Orange die complementäre Farbe des Blau iſt, welches die Luft reflecirt. (**Forbes** in Pogg. Ann. 47. 593; Ergänzungsband 1. 49.)

227 Weil die Dünſte das Licht ſtärker brechen, als die reine Luft, ſo müſſen ſie, wenn ſie vom Winde hin und her bewegt werden, eine Erſcheinung an den Geſtirnen hervorbringen, welche dem Flackern einer vom Winde bewegten Flamme ähnlich iſt. Geſchieht dieſes ſehr ſchnell, ſo erſcheinen die Sterne auch größer und heller. Es iſt bekannt, daß man das Stattfinden dieſer Erſcheinung für einen Vorboten naſſer Witterung anſieht.

228. Wenn die Sonne hinter einem Gewölke ſteht, das nahe daran iſt, Regen herabzuſchütten, durch einige Oeffnungen deſſelben hindurchſcheint und die Luft beleuchtet; ſo reflectiren die Waſſertröpfchen das Licht und es erſcheinen Streifen, die lichter ſind, als ihr Grund. Dieſe Streifen ſcheinen gegen die Sonne hin zu convergiren und ſich hinter der Wolke zu vereinigen, als wenn ſich dort die Sonne befände. Dieſes Phänomen, welches unter dem Namen **Waſſerziehen** der Sonne bekannt iſt, verkündet baldigen Regen. Es erſcheint im Sommer öfter als im Winter und bei niederem Sonnenſtande öfter als bei hohem. Seltener ereignet es ſich, daß man Strahlen ſieht, die von einem der Sonne gerade entgegengeſetzten Puncte des Firmamentes auszufahren ſcheinen, aber immer viel ſchwächer ſind, als die vorhin beſprochenen. Sie beruhen auf demſelben Grunde, wie jene. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengeſetzten Gegend des Firmamentes hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion in den Dünſten der unteren Luftregion eben ſo ſichtbar, wie ein Lichtſtrahl in einem dunkeln Zimmer durch Reflexion in den feinen, in der Luft ſchwebenden Stäubchen, und wiewohl dieſe Strahlen parallel ſind, ſo ſcheinen ſie doch durch optiſche Täuſchung gegen die fernſten Stellen zu convergiren, gerade ſo wie eine parallele Baumreihe gegen das von uns entfernteſte Ende zu convergiren ſcheint.

229. Wenn das Licht in die Atmoſphäre eintritt, ſo erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe; dasſelbe erfolgt, ſo oft es von dünnerer in dichtere Luft übergeht. Darum muß ein Lichtſtrahl, der durch die ganze Atmoſphäre zu uns gelangt, eine nach oben convexe Bahn beſchreiben, die deſto mehr gekrümmt iſt, je länger der in der Atmoſphäre zurückgelegte Weg des Lichtes iſt. Die Wirkung dieſer Krümmung der Bahn eines Lichtſtrahles iſt, daß jeder Punct, der einen ſolchen Strahl in unſer Auge abwärts ſendet, höher zu liegen ſcheint. Am Horizont iſt dieſe Wirkung am größten und am unregelmäßigſten; je näher dem Zenithe, deſto kleiner und regelmäßiger erſcheint ſie, bis ſie im Zenithe ſelbſt ganz verſchwindet. Die Kenntniß dieſer Strahlenbrechung, die man, wenn die Strahlen von irdiſchen Objecten kommen, irdiſche, wenn ſie von Himmelskörpern kommen, aſtronomiſche Strahlenbrechung nennt, iſt bei der Beſtimmung des Ortes eines entfernten Körpers von großer Wichtigkeit. Vermöge derſelben geht die Sonne früher auf und ſpäter unter, ſo daß dadurch der längſte Tag bei uns nahe um 8.5 M., in den Polargegenden um 1 Monat verlängert wird. Die Strahlenbrechung beträgt nahe am Horizont 30 M., in einer Höhe von 45° kaum 1 M., in einer Höhe von 75° nahe 16 Sec.; in mäßiger Entfernung vom Zenith iſt ſie der Tangente des Abſtandwinkels proportional.

230. Die Brechung des Lichtes in der Luft erfolgt zwar in der Regel ſo, daß ein horizontal oder abwärts fahrender Strahl eine nach oben convexe Bahn einſchlägt, weil die Luft in der Regel oben dünner iſt, als unten; allein es gibt doch Fälle, wo wegen der höheren Temperatur der unteren Luftſchichten das Gegentheil Statt findet und ein aufwärts fahrender Strahl wieder abwärts gekrümmt wird. Dadurch können von den Gegenſtänden, die unter dem Horizonte liegen, Strahlen ins Auge gelangen und ſelbe ſichtbar machen; es können auch dieſe ſowohl, als auch die über dem Horizonte gelegenen Dinge doppelt, verkehrt, verſchoben, in der Luft ſchwebend erſcheinen, wie Fig. 409 zeigt. Alle dieſe Phänomene ereignen ſich nur in großen (wenigſten 2 Stunden langen) Ebenen, und ſind unter dem Namen der Luftſpiegelung, Seegeſicht, Kimmung bekannt. Es ſey AB (Fig. 410) ein Gegenſtand, der ſich unter dem Horizonte OH des Auges O befindet. Werden die Strahlen, welche von AB ausgehen, ſo gebrochen, daß ſie die Krümmung AO und BO bekommen, ſo erſcheint AB ober OH in ab. Werden die Strahlen, welche ſonſt über dem Auge vorbeigegangen wären, in dasſelbe abgelenkt, ſo kann nebſt ab auch noch ein zweites Bild a′b′ erſcheinen, das ſogar verkehrt ſeyn kann, wenn der untere Strahl eine mehr convexe Bahn beſchreibt, als der obere.

In den Ebenen von Ungarn hat man an warmen heiteren Sommertagen dieſes Phänomen einige Stunden Vor- und Nachmittags ununterbrochen vor ſich. Das flache Land ſcheint in einiger Entfernung auf einmal durch einen großen See unterbrochen zu ſeyn und jenſeits des Sees ſich dieſe Gegend gleichſam zu wiederholen. Bei genauer

Betrachtung ſieht man wohl, daß das, was man für eine Waſſerſammlung hält, eigentlich nur das unterſte Stück des blauen Firmamentes iſt und daß ſich die ferne Gegend über dem Horizonte noch einmal abbilde; letzteres allein iſt der eigentliche optiſche Effect; daß man das zwiſchenliegende Firmament für Waſſer hält, iſt bloße Täuſchung.

231. Bei feuchter Witterung ſieht man nicht ſelten den Himmel mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen und die Sonne, den Mond oder auch Fixſterne der größeren Art mit einem Ringe umgeben, der lichter iſt, als der übrige Theil des Firmamentes und Hof heißt. Dieſer zeigt ſich oft mit Regenbogenfarben. Man unterſcheidet aber zweierlei Höfe, kleinere mit dem Körper, den ſie umgeben, zuſammenhängende, die, falls ſie gefärbt erſcheinen, nach außen roth ſind und bald einen größeren, bald kleineren Durchmeſſer haben, und größere, vom Centralkörper ziemlich weit abſtehende (Ringe), bei denen die rothe Farbe nach innen gekehrt iſt und deren Durchmeſſer gegen 45° beträgt; bei letzteren hat man auch oft einen zweiten Farbenring in doppelt ſo großer Entfernung vom leuchtenden Körper wahrgenommen. Fig. 411 zeigt dieſes Phänomen.

Die Höfe hat Huyghens aus der Brechung des Lichtes in gefrornen Dunſtkügelchen, die einen undurchſichtigen Kern haben, Mayer aus der Brechung in Dunſtbläschen zu erklären geſucht. Die naturgemäßeſte Erklärung hat Fraunhofer geliefert. Er erklärt die kleineren Höfe aus einer Beugung der Lichtſtrahlen, die an den Rändern der in der Atmoſphäre ſchwebenden Dunſtkügelchen vorbeifahren, beweiſet, daß dieſe Beugung gerade ſo vor ſich gehe, als wenn das Licht durch eine Oeffnung von einem dem Kügelchen gleichen Durchmeſſer geleitet würde, und überzeugte ſich, daß man im Geſichtsfelde eines achromatiſchen Fernrohres einem Hofe der kleineren Art völlig ähnliche Farbenringe ſieht, wenn man vor dem Objectivglaſe ſehr viele, ungemein kleine Glaskügelchen von beinahe gleicher Größe anbringt und durch eine runde Oeffnung einen ſtarken Lichtſtrahl darauf leitet. Dieſe Ringe ſind deſto größer, je kleiner die Glaskügelchen ſind. Es ſtellen nun die kleinen Scheibchen in Fig. 412 Dunſtkügelchen vor, auf welche von der Sonne oder dem Monde S directe parallele Strahlen auffallen, die am Rande jedes einzelnen Kügelchens gebeugt werden und nach der Beugung unter verſchiedenen Winkeln ausfahren. Geſetzt, es fahren die vom Kügelchen b gebeugten ſo aus, daß rothe Strahlen, welche den erſten Ring bilden, ins Auge O gelangen, ſo werden die rothen des zweiten und dritten Ringes das Auge verfehlen und den Weg b f, b g einſchlagen. Dafür können vom Kügelchen a die rothen des zweiten Ringes nach O gelangen. Auf ähnliche Weiſe geſchieht es mit den Strahlen von anderen Farben. Sind nun die Dunſtkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen zerſtreut, ſo ſieht das Auge Farbenringe um S, wovon der erſte rothe in einem Abſtande b O S, der zweite rothe in einem Abſtande a O S vom leuchtenden Körper erſcheint. Haben die Dunſtkügelchen beinahe einerlei Größe, ſo haben auch alle homogenen Ringe

einerlei Durchmeſſer, ſie fallen auf einander und verſtärken den Eindruck jedes einzelnen; gibt es aber Dunſtkügelchen von verſchiedener Größe, ſo fallen verſchiedenfarbige Ringe an derſelben Stelle zuſammen, die Farben ſchwächen ſich gegenſeitig, werden matter oder verſchwinden ganz, ſo daß nur ein heller Ring um den leuchtenden Körper übrig bleibt. Sind die Dunſtkügelchen groß, ſo werden die Farbenringe ſehr klein und können um größere und heller leuchtende Geſtirne nicht mehr geſehen werden, theils weil des größeren Durchmeſſers wegen die Farben in einander fallen, theils weil ihr Licht in ſo großer Nähe beim leuchtenden Körper verſchwindet. In dieſem Falle können aber noch um Fixſterne Höfe erſcheinen. Man begreift wohl, daß man in einem ſehr feuchten Zimmer um ein Kerzenlicht einen Hof wahrnehmen kann, und daß der Mond und die Sonne durch ein ſtark mit Dünſten beſchlagenes Fenſter mit einem Hofe erſcheinen muß, während man im Freien dieſes nicht bemerkt. Die größeren Höfe (Ringe) erklärte Fraunhofer aus der Brechung des Lichtes in Eiskryſtallen aus ſechsſeitigen und dreiſeitigen Prismen. Er zeigt, daß ſie nicht durch Beugung oder Brechung und Reflexion in Dunſtkügelchen oder Dunſtbläschen abgeleitet werden können, beſtimmt aus ſeiner Formel den Durchmeſſer der größeren Höfe, der mit dem durch die Erfahrung gegebenen ſehr wohl übereinſtimmt. Haben die Eisprismen eine pyramidale Zuſpitzung, ſo laſſen ſich aus einer Brechung des Lichtes in denſelben auch die zweiten größeren Höfe, ja durch Reflexion des in ein ſolches Prisma einfallenden Lichtes im Inneren deſſelben, ſogar ein dritter, wie ihn Hevel geſehen haben will, vollſtändig dem Maße nach erklären. (Dove in Pogg. Ann. 26. 310. Galle in Pogg. Ann. 49. 1.)

232. Manchmal ſieht man bei trüber Luft und kalter Witterung nebſt der wahren Sonne oder dem wahren Monde noch mehrere andere, die man Nebenſonnen und Nebenmonde nennt. Sie befinden ſich im Umfange eines weißlichen, horizontalen Ringes (Nebenſonnenkreiſes), deſſen Breite dem ſcheinbaren Durchmeſſer des Geſtirnes gleicht und der ſelbſt von farbigen Höfen, die das Geſtirn umgeben, durchſchnitten wird. Die Nebenſonnen und Nebenmonde ſtehen in dem Durchſchnitte des obigen Ringes und der Höfe, haben nicht ſelten vom Geſtirne abgewendete, weiße, lange Schweife und ſind auch manchmal mit dem wahren Geſtirne durch ein lichtes Kreuz verbunden. (Fig. 413.) Das innerhalb des kleineren Hofes befindliche Stück des Nebenſonnenkreiſes erſcheint immer matter als der übrige Theil deſſelben. Man bemerkte auch ſchon Nebenſonnen in einer verticalen, lichten, dem Durchmeſſer des gerade aufgehenden Geſtirnes an Breite gleichen Säule. Selten zeigt ſich das Phänomen der Nebenſonnen in ſeiner ganzen Vollſtändigkeit, wo es aus wenigſtens dreizehn Ringen oder Ringtheilen beſteht, in deren Durchſchnittspuncten die Nebenſonnen erſcheinen.

233. Die Nebenſonnen und Nebenmonde nebſt den ſie begleitenden Phänomenen, hat zuerſt Huyghens und in unſerer Zeit Fraun-

hofer zu erklären geſucht, und wiewohl dieſe beiden Gelehrten von ſehr verſchiedenen Geſichtspuncten ausgingen, ſo genügen doch beide Erklärungen der Erfahrung und es muß erſt die Zukunft hierüber näher entſcheiden. Huyghens nimmt an, es bilden ſich in den Wolken ſechsſeitige Eisprismen, die bei ihrem Herabſinken eine ſolche Lage annehmen, daß ſie den kleinſten Widerſtand erfahren, das iſt eine Lage, bei welcher die Axen der längeren Prismen (Eisnadeln) vertical, jene der kürzeren (Tafeln) horizontal ſind. Die verticalen Seitenflächen der erſteren und die Grundflächen der letzteren ſtellen eben ſo viele verticale Planſpiegel vor, welche dem Auge des Beobachters vom leuchtenden Körper Licht zuſenden und ihm von demſelben ein Bild gewähren, welches mit ihm gleich hoch ſteht und einen Winkelabſtand hat, der dem doppelten Einfallswinkel des Lichtes, von der Spiegelfläche an gerechnet, gleich kommt. Sind dieſe Eisnadeln in allen Azimuthen vorhanden, ſo liefern ſie einen horizontalen farbloſen Lichtring von der Breite des leuchtenden Objectes. Er geht durch dieſes Object, weil die ſehr ſchief einfallenden Strahlen ein dieſem Objecte ſehr nahes, jene aber, deren Einfallswinkel $=0$ iſt, ein wirklich mit dem Objecte zuſammenfallendes Bild geben. Dieſe Erklärung hat neueſtens Babinet durch künſtliche Nachbildung des betreffenden Phänomens auf dem Wege der Reflexion zu bekräftigen geſucht. Nach Fraunhofer rühren die geſammten, hier in Rede ſtehenden Phänomene von der Beugung des Lichtes an Dunſtkügelchen her. Der Umſtand, daß die aufgehende Sonne, durch ein Gitter angeſehen, welches aus horizontalen, einander hinreichend nahen und gleich weit von einander abſtehenden Fäden beſteht, das Phänomen der verticalen Nebenſonnen ganz genau zeigt, brachte ihn auf den Gedanken, dieſe Erſcheinung entſtehe durch Beugung des Lichtes an den Dunſtkügelchen der Atmoſphäre. Man denke ſich in einer Schichte des Dunſtkreiſes Dunſtkügelchen, die gegen die Weltgegenden unregelmäßig verbreitet ſind, aber doch ſo liegen, daß je zwei von ihnen für einen horizontal auffallenden Strahl einerlei Entfernung haben. Fallen nun Strahlen der im Horizonte befindlichen Sonne auf ſie ein, ſo werden ſie an ihren Rändern gebeugt, in verticaler Richtung wirken ſie aber viel näher auf einander ein, als in horizontaler und bringen dieſelben Phänomene hervor, wie die vorher genannten parallelen, horizontalen Linien. Es erſcheinen keine Farben, weil wegen der Ausdehnung des Sonnen-Durchmeſſers die verſchiedenfarbigen Streifen in einander fallen und durch ihren Geſammteindruck Weiß erzeugen. Weil der Abſtand der Mitte je zweier Dunſtkügelchen an verſchiedenen Tagen verſchieden ſeyn kann, ſo iſt auch der Abſtand der verticalen Nebenſonnen nicht immer nothwendig derſelbe, und weil dieſer Abſtand für verſchiedene Kügelchen in einem großen Grade ungleich ſeyn kann, ſo erſcheint oft gar keine Nebenſonne, ſondern nur ein verticaler Lichtſtreifen, d. i. eine ſogenannte Feuerſäule, wie man ſie manchmal ſieht. Auch eine dem horizontalen Ringe analoge Erſcheinung lehrt Fraunhofer künſtlich hervorbringen. Radirt

man in ein mit Gold belegtes Glas parallele, aber ſehr ungleich von einander abſtehende Linien und ſieht durch dieſes, bei einer verticalen Richtung der Linien auf die Sonne; ſo erblickt man zu beiden Seiten derſelben einen horizontalen, weißen Lichtſtreifen, der ſo breit iſt, wie der ſcheinbare Sonnendurchmeſſer und ſo lang als das Glas. Sieht man die Sonne durch ein ſolches Glas an, worauf gerade, von einem Puncte ausgehende Linien gezogen ſind, und welches gegen die Sonne gehörig geneigt iſt, ſo erblickt man einen vollſtändigen weißen Kreis. Gibt es nun im Dunſtkreiſe kleine Körperchen, z. B. Dunſtkügelchen, Kryſtalle, die für den horizontal kommenden Lichtſtrahl in verticalen Linien zu liegen ſcheinen, für das Auge des Beobachters eine regelmäßige Lage haben und deren Abſtände gegen ihren Durchmeſſer ſehr klein ſind; ſo bieten ſie den Lichtſtrahlen im verticalen Sinne keine Zwiſchenräume dar, ſondern decken ſich und die Strahlen werden daher nur in horizontaler Richtung abgelenkt und gelangen ſo ins Auge. Daher der horizontale Kreis. Seine Farbloſigkeit kommt wieder von der verſchiedenen Entfernung je zweier beugender Körper oder von ihrer verſchiedenen Größe. Können auch im verticalen Sinne einige Strahlen gebeugt werden, ſo bemerkt man auch einen verticalen Lichtſtreifen vom leuchtenden Körper aus, ſo daß dieſer mit einem Kreuze erſcheint. Wo der horizontale Ring einen Hof durchſchneidet, muß eine größere Lichtſtärke herrſchen und es muß daſelbſt eine horizontale Nebenſonne erſcheinen, die noch dadurch verſtärkt wird, daß wegen den im horizontalen Sinne größeren Zwiſchenräumen der Eiskryſtalle nach dieſer Richtung mehr gebeugtes Licht ins Auge des Beobachters gelangen kann. Der Schweif, welcher Nebenſonnen oft begleitet, kommt daher, daß die gebrochenen Strahlen zwar an beſtimmten Stellen (wo ſie den größeren Hof bilden) am ſtärkſten das Auge afficiren, allein doch auch außerhalb dieſer Stelle noch eine empfindbare Stärke haben. (Theorie der Höfe, Nebenſonnen von Fraunhofer, in den aſtronomiſchen Nachrichten, herausgegeben von Schumacher. Altona 1825. Heft 3. Pogg. Ann. 16. 67. Brandes in ſeinen Unterhaltungen für Freunde der Phyſik. 3. Hft. Seite 205. Babinet in Pogg. Ann. 41. 128.)

Dieſe Lichtphänomene ſind viel häufiger, als man gewöhnlich glaubt. Mayer hat in einem Jahre (April 1826 bis April 1827) um die Sonne 47 große, 6 kleine Ringe, 13 horizontale und 7 verticale Nebenſonnen, und um den Mond 12 große, 15 kleine Ringe beobachtet. Kleine Ringe ſollen ſich beſonders bilden, wenn der Cirrocumulus am Himmel ſich zeigt, und auch deſto größer ſeyn, je größere Flocken dieſe Wolkenart bilden. Große Ringe, Nebenſonnen, Nebenmonde ꝛc. fordern zu ihrem Entſtehen entweder den Stratus oder den Cirroſtratus. (Mayer in Kaſt. Arch. 13. 237.)

234. Eine der ſchönſten Lufterſcheinungen iſt der Regenbogen. Er erſcheint in Regenwolken, die von der Sonne beſchienen werden und dem Auge des Beobachters gegenüberſtehen, und zeigt die

gewöhnlichen prismatiſchen Farben, wovon Violett nach innen, Roth nach außen vorkommt. Wenn dieſe Farben recht lebhaft ſind, ſo bemerkt man auch einen zweiten Regenbogen mit einem größeren Halbmeſſer, als jener des erſteren iſt, ſeine Farben ſind minder lebhaft und folgen in verkehrter Ordnung auf einander, ſo daß die innere roth, die äußere violett iſt. Unter beſonders günſtigen Umſtänden wird ſelbſt ein dritter Regenbogen bemerkbar. Manchmal zeigen ſich nur Stücke eines Regenbogens, ſogenannte **Regengallen**. Regenbogen, welche unter denſelben Bedingungen durch den Mond entſtehen, wie die genannten durch die Sonne, ſind nicht ſo häufig und immer matter als erſtere.

235. Die Entſtehung des Regenbogens beruht auf der Brechung und Reflexion des Lichtes und der ſie begleitenden Farbenzerſtreuung, und zwar verdankt der erſte oder Hauptbogen jenen Modificationen des Lichtes in den Regentropfen ſein Entſtehen, welche in 263, der zweite der Regenbogen denjenigen, welche in 264 näher betrachtet und der Rechnung unterworfen worden ſind. Es ſey A (Fig. 414) ein kugelförmiger Regentropfen und SA ein darauf fallender weißer Sonnenſtrahl, der durch zwei Brechungen und eine Reflexion in das in O befindliche Auge gebracht wird. In dieſem wird er aber nur dann einen hervorſtehenden Eindruck machen, wenn er zu den wirkſamen Strahlen gehört, d. h. wenn der Einfallswinkel α der Bedingung $\cos \alpha = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$ entſpricht. Es ſey durch O die mit SA parallele OF gezogen. Da iſt nun klar, daß alle Tropfen, welche in einem Kreiſe liegen, den der Punct A beſchreibt, wenn ſich die Linie OA um die Axe OF dreht, dieſer Bedingung entſprechen werden, und daß demnach das Auge O einen hellen Kreis um OF ſehen muß. Aber da es für jeden farbigen Strahl einen beſonderen Werth von α gibt, ſo werden auch ſo viel verſchiedenfarbige Kreiſe um OF ſichtbar werden müſſen, als es Werthe von n für das weiße Sonnenlicht gibt. Für rothe Strahlen, für welche bei dem Uebergange aus Luft in Waſſer $n = 1.33209$ iſt, hat man $\alpha = 59^\circ\ 27'\ 50''$, für violette, denen $n = 1\ 33888$ entſpricht, iſt $\alpha = 59^\circ\ 3'\ 50''$. Nach 263 iſt aber der halbe Winkel AOF gleich $2\beta - \alpha$, wo α den Einfalls-, β den Brechungswinkel bezeichnet. Setzt man nun für α und β die numeriſchen Werthe, wie ſie dem rothen und violetten Lichte entſprechen, ſo erhält man AOF für rothe Strahlen $= 42^\circ\ 12'$, für violette $= 41^\circ\ 13'\ 40''$. Mithin iſt im farbigen Bogen der violette Saum nach einwärts, der rothe nach auswärts gekehrt, den Zwiſchenraum füllen die übrigen Farben in natürlicher Aufeinanderfolge aus. Die Breite des ganzen Bogens wäre dieſemnach $= 58'\ 20''$. Allein man muß bedenken, daß die ſo eben gemachte Betrachtung von jedem Puncte der Sonnenſcheibe gilt und daß demnach jede Farbe, wenn ſie allein vorhanden wäre, eine dem ſcheinbaren Sonnendurchmeſſer gleiche Breite, mithin der ganze farbige Bogen eine um dieſen Durchmeſſer größere Breite haben müſſe, wobei jedoch nur die äußeren Farben

deutlich hervortreten werden, die mittleren aber ſich durch gegenſeitige Deckung ſchwächen.

Aehnliche Betrachtungen laſſen ſich bezüglich des Nebenregenbogens anſtellen. Für dieſen fordern die wirkſamen Strahlen einen Einfallswinkel, deſſen Coſinus $= \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}}$ iſt, mithin für rothes Licht 71° 52′, für violettes 71° 39′ beträgt, und der vorher mit AOF bezeichnete Winkel hat für dieſes den Werth 52° 40′, für jenes 50° 22′, wobei der Einfluß des Sonnendurchmeſſers bereits berückſichtiget iſt. Der ganze Bogen hat alſo eine Breite von nahe 2° 18′ und der Zwiſchenraum zwiſchen dieſem und dem erſten Regenbogen beträgt 50° 22′ — 42° 12′ = 8° 10′.

236. Aus dieſer Anſicht, deren Richtigkeit ſowohl durch die Uebereinſtimmung der wirklichen Maße mit den aus der Theorie abgeleiteten, als auch dadurch unterſtützt wird, daß der Polariſationszuſtand des Regenbogenlichtes den hier vorausgeſetzten Modificationen entſpricht, läßt ſich auch einſehen, daß bei uns nie ein Regenbogen gegen Süden erſcheinen kann, daß jeder Beobachter ſeinen eigenen Regenbogen ſieht und zwar in jedem Augenblicke einen anderen, indem die Sonne ihre Lage gegen die Regenwolke in jedem Augenblicke ändert, daß er in jedem Augenblicke von anderen Tropfen gebildet wird, daß beſonders im flachen Lande, wo die Regenwolken gewöhnlich weit entfernt ſind, nur ein Stück des gefärbten Kreiſes über dem Horizonte liegt. Zieht man nämlich durch O die horizontale OH, ſo iſt klar, daß das ſichtbare Stück des Hauptregenbogens durch den Winkel AOH = AOF — HOF = 42° — HOF ausgedrückt wird, wobei HOF die Sonnenhöhe bezeichnet. Man ſieht daher dieſen Regenbogen nur, wenn die Sonnenhöhe kleiner als 42° iſt, und der ſichtbare Bogen hat ſelbſt beim Sonnenuntergange nur eine Höhe, welche dieſem Winkel gleicht. Auf hohen Bergen ſieht man einen größeren Theil, und man würde einen ganzen Kreis ſehen, wenn das Auge 42° unter den Horizont reichte. Dieſes kann geſchehen, wenn die Tropfenwand dem Auge nahe iſt, wie es bei Waſſerfällen oft geſchieht.

237. Eine genaue Betrachtung der Regenbogen, namentlich des intenſiveren Hauptregenbogens lehrt, daß derſelbe jederzeit innerhalb des violetten Randes von einigen concentriſchen Farbenſäumen, an welchen ſich beſonders ein Wechſel von Roth und Grün wahrnehmen läßt, begleitet wird. Dieſe Erſcheinung, welche bisher zu verſchiedenen Meinungen über ihren Urſprung Anlaß gegeben hat, findet, wie Airy vor Kurzem bewies, nicht in den Principien der gewöhnlichen geometriſchen Optik, ſondern einzig und allein in der Undulationstheorie des Lichtes ihre wahre Erklärung. Sie iſt eine Folge des Umſtandes, daß in der Nähe einer Brennlinie, dergleichen ein Regenbogen iſt, aus ähnlichen Gründen wie bei den Beugungsphänomenen, mehrere Maxima und Minima der Lichtſtärke obwalten, nach Maßgabe der Phaſenunterſchiede, in welchen die ſich da zur wirk-

ſamen Welle vereinigenden Elementarwellen mit einander zuſammen treffen. Schon Arago hatte hier ein Interferenz-Phänomen vermuthet.

Außer den oben beſprochenen gewöhnlichen Regenbogen zeigen ſich manchmal auch noch ungewöhnliche Erſcheinungen. Dahin gehören die verſchiedenen Mittelpuncten entſprechenden, einander durchſchneidenden, oder gar umgekehrten Regenbogen. Man erklärt dieſelben aus der Wirkung eines durch Reflexion an ruhig ſtehendem Waſſer hervorgebrachten Spiegelbildes der Sonne, das gleichſam die Anweſenheit einer zweiten Sonne vertritt.

238. Zu den leuchtenden merkwürdigen Lufterſcheinungen gehört auch das Zodiakallicht, d. i. ein blaſſer, weißlicher Schimmer, welcher die Geſtalt einer ſchief liegenden Pyramide hat, deren Baſis auf dem Horizonte ſteht, deren Spitze nach dem culminirenden Puncte des Aequators gerichtet iſt. Es erſcheint nur zur Zeit der Nachtgleichen, und zwar im Herbſte vor, im Frühlinge nach Sonnenuntergang. Nach Mairan's Erklärung iſt dieſe Erſcheinung die entweder ſelbſt leuchtende oder erleuchtete Sonnen-Atmoſphäre, welche wegen des ſchnellen Umſchwunges der Sonne eine linſenförmige Geſtalt hat. Daß man ſie nicht immer ſieht, ſoll von der ſchiefen Lage der Ekliptik gegen den Horizont und der verſchiedenen Dauer der Dämmerung herkommen. Allein es läßt ſich nach dem Geſetze der Gravitation darthun, daß ſich die Sonnen-Atmoſphäre nicht einmal bis zur Merkurbahn erſtreckt, mithin dieſe Erſcheinung durchaus nicht hervorbringen kann. Man muß deßhalb dieſe Erſcheinung zu den noch unerklärten zählen.

Achtes Kapitel.

Feuermeteore.

239. Die ſogenannten feurigen Lufterſcheinungen gehören zu den räthſelhafteſten Phänomenen im Reiche der Natur. Man hat über ihr Entſtehen und Weſen nichts als mehr oder weniger gewagte Hypotheſen. In die Claſſe dieſer Erſcheinungen gehören die Irrlichter, Sternſchnuppen und Feuerkugeln.

240. Die Irrlichter ſind kleine Flämmchen, welche Nachts, vorzüglich an feuchten Orten, wo thieriſche Körper in Fäulniß übergehen, bemerkt werden, auf und nieder, hin und her hüpfen, ſich mit einander vereinigen und ſich wieder trennen. Sie beſtehen wahrſcheinlich aus gephosphortem Waſſerſtoffgas, das ſich ſucceſſiv an verſchiedenen Puncten in verſchiedener Menge entwickelt, und ſobald es die unteren, vorzüglich Nachts durch die Pflanzen ausgehauchten Schichten kohlenſaurer Luft überſchritten hat, ſich entzündet. Wenn ſie auch ununterbrochen zu leuchten ſcheinen, ſo kommt dieſes doch nur davon her, daß die Gasentwicklung ununterbrochen vor ſich geht,

und jedes verbrannte Theilchen gleich wieder durch ein anderes erſetzt wird. Durch den Luftzug können ſolche Theilchen verſchiedene Bewegungen bekommen, ſich heben und ſenken, ſich vertheilen und wieder vereinigen.

241. Jedermann kennt gewiß jene kleinen leuchtenden Körper, die, einem Sterne ähnlich, mit bedeutender Geſchwindigkeit am Himmel fortſchießen und in wenigen Secunden verſchwinden. Man nennt ſie Sternſchnuppen. Sie erſcheinen in ſehr verſchiedener Größe, und zwar wie Sterne der dritten bis ſechsten Größe, oft ſogar ſo glänzend wie Jupiter und Venus. Bei einigen derſelben bleiben Schweife zurück, welche einen Theil der zurückgelegten Bahn mit einem blaſſen Lichte bezeichnen, aber auch dieſe verſchwinden ſchon nach wenigen Secunden und dauern nur bei den größten derſelben Minuten lang. Aus correſpondirenden Beobachtungen hat man die Höhe kennen gelernt, in welcher ſie verſchwinden; dieſe wechſelt von 1 bis 50 Meilen. Man glaubt aber, daß einige derſelben bis zur Erde herabfallen, ja manche hielten die ſchleimigen, gallertartigen Stoffe, welche man an ſolchen Stellen gefunden hat, für Ueberreſte von Sternſchnuppen, wiewohl ſich gegen eine ſolche Annahme gegründete Einwürfe erheben laſſen. Die Geſchwindigkeit, mit der die Sternſchnuppen ihre Bahn durchlaufen, iſt bedeutend; ja man nimmt an, daß ſie in einer Secunde 4 — 8 Meilen zurücklegen. Meiſtens gehen ſie abwärts, oft auch horizontal, ja man hat ſogar aufwärts fahrende beobachtet, doch ſcheint letzteres eine bloße Anomalie zu ſeyn, die an der betreffenden Sternſchnuppe durch eine partielle Exploſion nach dem Geſetze der Rückwirkung, wie wir dieſes an Raketen bemerken, bewirkt wird. Die Sternſchnuppen ſind jedem Klima und jeder Gegend eigen, und ihr Erſcheinen iſt von der Witterung ganz unabhängig; aber nicht zu allen Zeiten bemerkt man deren, ſelbſt unter ſonſt günſtigen Umſtänden, gleich viele. Am häufigſten hat man ſie nun ſeit mehreren Jahren Mitte Novembers und dann Mitte Auguſt beobachtet. Merkwürdig iſt, daß die meiſten derſelben aus der Gegend des Sternbildes des Löwen zu kommen ſcheinen. Ueber die Natur dieſer merkwürdigen Phänomene iſt man noch keineswegs im Reinen. Der jetzt wahrſcheinlichſten Annahme zu Folge ſind die Sternſchnuppen kleine Maſſen, die im Weltraume mit planetariſcher Geſchwindigkeit nach den Geſetzen der allgemeinen Schwere um die Sonne kreiſen, und wenn ſie in unſere Atmoſphäre kommen, ſich darin entzünden und ſich dabei entweder ganz verzehren oder in einer oder der anderen Form herabfallen, oder endlich auch, nachdem ſie den in ihrer Bahn liegenden Theil der Atmoſphäre durchwandert haben, wieder ihren Weg um die Sonne fortſetzen. Daß ſie gerade im November und Auguſt in größerer Zahl bemerkbar ſind, mag davon herrühren, daß die Bahnen ſolcher Körper gerade da einander am nächſten liegen (eine Art Milchſtraße bilden), wo ſich die Erde in der erſten Hälfte des November und Auguſt befindet. (Beobachtungen über Sternſchnuppen von Brandes. Leipzig 1825. Pogg. Ann. 29. 447; 31. 159;

33. 189; 36. 315; 38. 550; 39. 353, 415, 461; 41. 175, 48. 582; Zeitſchr. n. F. 2. 11; Schumachers Jahrbuch für 1837, S. 36, für 1838, S. 317. Repertorium der Phyſik von Dove 4. 275.)

242. Von ähnlicher, nur der Größe nach verſchiedener Natur ſcheinen die Feuerkugeln, fliegenden Drachen u. dergl. zu ſeyn. Sie erſcheinen oft zugleich mit den Sternſchnuppen, unabhängig von Klima und Wetter, in Geſtalt leuchtender Maſſen in einer ſo bedeutenden Höhe, daß man ſie in weit entfernten Orten zugleich ſehen kann. Sie bewegen ſich in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Bahn mit ſehr großer Geſchwindigkeit abwärts, verſchwinden ohne eine Spur zurückzulaſſen, oder zerſpringen mit großem Getöſe und laſſen eine ſteinartige Maſſe, Meteorſteine, in vielen Stücken, glühend heiß und weich, zur Erde fallen. Die Meteorſteine ſind körnig kryſtalliniſche Maſſen, die meiſtens äußerlich mit einer dunkleren Rinde überzogen ſind. Sie beſtehen ganz aus Eiſen oder ſind doch von metalliniſchem Eiſen durchſetzt. Die meiſten ſind ſich in der Zuſammenſetzung ihrer Beſtandtheile ſo ähnlich, wie Stücke derſelben Felſenmaſſe. Sie unterſcheiden ſich von den auf der Erde vorkommenden Körpern durch den Reichthum an Talkerde, durch Seltenheit der Kieſelerde und dem unbedeutenden Gehalt an thonigen und alkaliniſchen Silicaten, beſonders aber durch das Vorkommen des gediegenen Eiſens, das in dieſem Zuſtande auf der Erde nicht gefunden wird, haben aber mit den auf der Erde vorkommenden Mineralkörpern das gemein, daß die einfachen Stoffe und einige Miſchungen derſelben zu mineralogiſchen Arten in beiden auf gleiche Weiſe vereinigt ſind. Ihr ſp. Gewicht beträgt 3.5 — 4.28.

243. Da die Meteorſteine das eigentliche Material der Feuerkugeln ſind, und dieſe, ſo wie die ihnen gleich beſchaffenen Sternſchnuppen, nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe als dem Weltraume angehörige, vielleicht nur zufällig in unſere Atmoſphäre gerathene Körper angeſehen werden müſſen; ſo fallen die Hypotheſen über den atmoſphäriſchen oder lunariſchen Urſprung der Meteorſteine als unhaltbar von ſelbſt weg, und es bleibt nur jene übrig, welche ihnen einen kosmiſchen Urſprung anweiſet. (Fiſcher in den Abhandlungen der Berliner Geſellſchaft 1820, 1821. Chladni über Feuermeteore und über die mit denſelben herabgefallenen Maſſen, mit Steindruck-Tafeln und deren Erklärung von Schreibers. Wien 1819. Ideler über den Urſprung der Feuerkugeln und des Nordlichtes. Berlin 1832. v. Holger in Zeitſchrift 7. 129, 279; 9. 323. v. Schreibers in Zeitſchr. n. F. 1. 193. Berzelius in Pogg. Ann. 33, 1. 113. Hoff ebend. 36. 161.)

Neuntes Kapitel.

Einiges über Wetteranzeigen.

244. Nicht alle der abgehandelten Meteore ſind für uns von gleicher Wichtigkeit. Die Wärmemeteore, die Winde, die wäſſerigen Niederſchläge und zum Theile auch die Gewitter ſpielen durch ihren großen Einfluß auf die Vegetation und auf den thieriſchen Haushalt die Hauptrolle; darum beſtimmt auch der Inbegriff derſelben vorzugsweiſe den Charakter des Wetters. Deren Eintreten vorherzuſagen, war von jeher der Gegenſtand vielfacher Bemühungen; aber wir ſind ſelbſt bei dem gegenwärtigen vorgerückten Zuſtande der Phyſik noch ſehr weit vom Ziele entfernt. Die geringen Fortſchritte in dieſem Puncte erklären ſich leicht aus der Schwierigkeit des Gegenſtandes. Findet doch der Aſtronom, welcher es nur mit einer einzigen Kraft, nämlich mit der Gravitation, zu thun hat, wenn er ein Phänomen am Himmel vorherbeſtimmen will, viel Schwierigkeit, ſobald nur mehr als zwei Himmelskörper zur Erzeugung dieſes Phänomens, wenn auch nach demſelben Geſetze zuſammenwirken, und der Meteorolog ſoll Phänomene vorherbeſtimmen, die von ſo vielen Urſachen abhängen, welche ſich überdieß nicht einmal der Größe nach beſtimmen laſſen und die noch keiner mathematiſchen Behandlung fähig ſind. Ohne Zweifel unterliegt jedes die Witterung conſtituirende Phänomen einer periodiſchen Wiederkehr; könnte man jedes von allen übrigen iſoliren, ſo würde man das Geſetz der Wiederkehr leicht erkennen. Allein das Zugleichſeyn ſo vieler Erſcheinungen, die, wenn auch im einzelnen eine Periode einhaltend, doch mit ihren verſchiedenen Phaſen auf einander fallen, maskirt die Regelmäßigkeit des Ganzen und läßt die Witterung, beſonders der gemäßigten Zone, als ungeregeltes Chaos erſcheinen. Der Meteorolog, der ſeine Wiſſenſchaft ernſtlich fördern will, muß daher vor allem dahin arbeiten, die Phänomene zu zergliedern und jedes eine beſondere Periode einhaltende Phänomen zu iſoliren, um das Geſetz der compleren Erſcheinungen kennen zu lernen. Der feſt geſchlungene Knoten der Witterungserſcheinungen muß ſich auf ſolche Weiſe entwirren und Wetterprophezeiungen werden nicht mehr ein ſo mißliches Geſchäft ſeyn, wie jetzt, wo man höchſtens nur iſolirte Wetterregeln geben kann.

245. Alle derlei Wetterregeln laſſen ſich füglich in zwei Claſſen bringen. In die erſte zählen wir jene, die ſich nicht bloß durch vielfache Beobachtungen allgemein bewährt haben, ſondern deren Richtigkeit auch aus den anerkannten Naturgeſetzen begreiflich iſt; in die zweite jene, für welche wohl vielfache Erfahrungen ſprechen, die man aber nicht zu erklären vermag, wiewohl ſie mit der Theorie nicht im Widerſpruche ſtehen. Solche, die anerkannten Geſetzen oder ſich ſelbſt widerſprechen, ſollen billig der verdienten Vergeſſenheit überliefert werden.

246. Die ſicherſten Wetterregeln ergeben ſich 1) aus den Luft-

bewegungen, d. h. aus den Winden und den Oscillationen des Barometers; 2) aus der Durchſichtigkeit der Luft und der Farbe des Firmamentes; 3) aus dem Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne; 4) aus den Wolken; 5) aus der Feuchtigkeit der unteren Atmoſphäre; 6) aus der vorhergehenden Witterung; 7) aus dem Mondesſtande; 8) aus dem Benehmen mancher Thiere und Pflanzen.

247. Es iſt aus dem früher Abgehandelten klar, daß die Winde auf die Wärme und Feuchtigkeit der Luft einen ſehr großen Einfluß nehmen müſſen, weil ſie uns die Luft entfernter Gegenden mit ihrer Temperatur und ihrem Waſſergehalte zuführen. Verbindet man damit noch die Thatſache, daß warme Winde ſtets von oben, kalte aber von unten einbrechen und daß die Drehung des Windes faſt immer nach einem beſtimmten Drehungsgeſetze vor ſich gehe; ſo wird man ſich den Zuſammenhang zwiſchen den Winden und den Wärme- und Waſſermeteoren leicht erklären können. Die Wärmeerſcheinungen unſerer Gegenden werden vorzugsweiſe durch die zwei einander abwechſelnd verdrängenden Luftſtröme, den Polar- und Aequatorialſtrom bedingt, und das längere Verharren in einem und demſelben Strome gibt der Witterung den regelmäßigen Charakter, öfteres Wechſeln aber erzeugt Extreme, wie ſie oft bemerkt werden. Ein dauerndes Befinden im N. Strome bringt kalte Winter und trockene und warme Sommer, ein anhaltendes Verharren des S. Stromes aber naſſe und kühle Sommer und milde Winter. Wechſelt der Strom beim Eintritte des Winters, ſo folgt auf einen heißen Sommer ein milder Winter oder auf einen kühlen Sommer ein ſtrenger Winter. Wenn aber ein großer Theil von Europa ſich im N. Strome befindet, ſo muß ſich Aſien oder Amerika im S. Strome befinden und umgekehrt; daher es denn auch kommt, daß milde Winter bei uns mit ungewöhnlich ſtrengen in Amerika oder Aſien gleichzeitig ſind, wie dieſes in den Jahren 1821 — 1822 und 1834 — 1835 der Fall war, wo das Thermometer während der entſchiedenſten Wintermonate kaum 10 Tage hinter einander unter 0° ſtand, während in Amerika ſelbſt in der Breite von Mailand das Queckſilber fror. Der durch den Südſtrom unterhaltene milde Winter einer Gegend unterſtützt die erwärmende Wirkung der Sonne im Frühlinge, während dieſe Wirkung dort, wo ein ſtrenger Winter herrſcht, durch die zum Schmelzen des Eiſes nöthige Wärmebildung nicht Statt hat; die Wärmedifferenz beider Gegenden wird dadurch geſteigert, der Druck der Luft in der kalten Gegend vermehrt und endlich dahin gebracht, daß der N. Strom den S. Strom überwältigt und ſich über die Gegenden ergießt, welche im Genuſſe eines milden Winters und eines ſchönen Frühlingsanfanges ſind. Daher kommt es, daß oft auf milde Winter ein kalter Frühling folgt und den gemeinen Mann auf die Meinung bringt, es müſſe ſich die Natur im Laufe eines Jahres eines gewiſſen Maßes von Kälte entledigen.

248. Das Barometer wird mit Recht als einer der zuver-

läßigſten Wetterpropheten angeſehen; denn man kann faſt immer mit Sicherheit von ſtarken Veränderungen im Barometerſtande auf Aenderungen im Charakter der Witterung ſchließen. Gewöhnlich geht man aber noch weiter und betrachtet das Fallen des Barometers als Vorzeichen einer ſchlechten, das Steigen deſſelben als Vorzeichen einer günſtigen Witterung. Ungewöhnlich ſtarkes und ſchnelles Fallen des Barometers muß mit ſtarken Störungen des Gleichgewichtes verbunden ſeyn und wird darum mit Recht als Zeichen eines bevorſtehenden oder ſchon in mehr oder weniger weit entfernten Orten herrſchenden Sturmes angeſehen. Darum pflegen Seeleute das Barometer fleißig zu beobachten, um aus deſſen Stande abnehmen zu können, ob es etwa Zeit ſey, ſich auf einen bevorſtehenden Sturm vorzubereiten. Da der Uebergang der Waſſerdünſte in tropfbaren Zuſtand eine Verminderung des Luftdruckes erzeugen muß, weil wohl die Dünſte nicht aber die Waſſertropfen den Druck der Atmoſphäre vermehren helfen; ſo muß auch in der Regel ein Sinken des Barometers ſchlechtes, ein Steigen gutes Wetter erwarten laſſen, jedoch wird die Erwartung nicht ſelten getäuſcht, weil feuchte Luft nicht immer ſo weit gebracht wird, daß ihr Dunſtgehalt in herabfallende Tropfen übergeht, und auch bei eintretender Kälte, die mit einem Steigen des Barometers verbunden iſt, die ſchon vorhandenen Dünſte ausgeſchieden werden können. Nach v. Buch unterbleiben Waſſerniederſchläge nicht, ſobald das Barometer bei irgend einem Winde unter die dieſem Winde entſprechende mittlere Höhe herabgeſunken iſt. Da auf öſtliche Winde meiſtens ſüdliche folgen und durch Abkühlung der letzteren wäſſerige Niederſchläge und zugleich ein Sinken des Barometers bewirkt werden; ſo muß bei ihnen das Barometer vor oder während des Regens fallen Auf der Weſtſeite erfolgt aber das Gegentheil; denn weil ein weſtlicher Wind in der Regel in einen nördlichen umſchlägt, wodurch Regen und zugleich ein Steigen des Barometers bewirkt wird, ſo muß bei ſolchen Winden das Barometer während oder vor dem Regen ſteigen.

249. Die Durchſichtigkeit und Farbe der Luft (des Firmamentes) hängt bekanntlich von der Menge und dem Aggregationszuſtande des in der Luft enthaltenen Waſſers ab, und daher kann man von jener auf dieſe und auf die leicht ſich daraus ergebenden Folgen ſchließen. So lange das Waſſer im vollkommen expanſiblen Zuſtande in der Luft ſchwebt, macht es dieſelbe deſto durchſichtiger, in je größerer Menge es darin vorkommt. Daher ſieht man die aus der großen Durchſichtigkeit der Luft ſich ergebende, ſcheinbare Nähe ferner Gegenſtände, das ſchwarze Ausſehen von Wäldern ꝛc. als Zeichen der überhand nehmenden Luftfeuchtigkeit an. Von dieſer großen Durchſichtigkeit der Luft mag auch die ſtärker erwärmende Kraft der Sonne herrühren und darin der Grund liegen, warum man das Stechen der Sonne als Vorzeichen einer Wetteränderung anſieht. Ungewöhnliche Heiterkeit des nächtlichen Himmels, durch welche ſelbſt die kleineren Sterne ſichtbar werden, hat dieſelbe Bedeutung; ein

ſanfter Schleier über ferne Berge läßt aus gleichem Grunde ein Fortdauern der günſtigen Witterung hoffen. Das Erblaſſen des Firmamentes deutet den Anfang des Uebergangs der Dünſte in kleine Tröpfch n an und iſt darum ein Vorbote wäſſeriger Niederſchläge. Es wird meiſtens durch den in oberen Regionen ſchon eingetretenen Südwind verurſacht.

250. Schon die Alten haben das Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne, beſonders beim Auf- und Untergange, zum Behufe der Meteoromantie benützt, und man ſieht leicht ein, daß dieſes mit Grund geſchah, indem man daraus auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft und daher auch auf die damit zuſammenhängenden Phänomene ſchließen kann. Geht die Sonne, der Mond oder ein Stern früher auf als gewöhnlich, ſo herrſcht eine ſtarke Strahlenbrechung und die Luft enthält viel Dünſte; dasſelbe iſt der Fall, wenn die Scheibe des Mondes oder der Sonne beim Aufgehen ungewöhnlich groß oder oval erſcheint. Eine verticale Nebenſonne oder ein Nebenmond hat eine ähnliche Vorbedeutung. Gehen die Geſtirne, beſonders aber die Sonne blaß, roth oder gar unter Wolken auf, ſo mag der übrige Himmel wie immer rein ſeyn, es iſt doch ein baldiger wäſſeriger Niederſchlag zu beſorgen, weil ſchon ein ſüdlicher (ſüdöſtlicher), viele Dünſte mit ſich führender Wind im Anzuge iſt. Ja ſelbſt wenn directer Oſtwind herrſcht, ſo zeigen doch die ſchon an der Oſtſeite vorhandenen hohen Wolken an, daß ein in der Regel ihn ablöſender ſüdlicher Wind dieſe Wolken in Regenwolken verwandeln werde. Darum geht ein ſolcher Sonnenaufgang nicht ſelten der Witterungsänderung von 2 — 3 Tage voraus. Trüber Sonnenuntergang zeigt eine Anhäufung der Dünſte am weſtlichen Himmel, und da im mittleren Europa die weſtlichen Winde die herrſchenden ſind, die Wahrſcheinlichkeit, daß dieſes Uebermaß auch bald unſeren Scheitel erreichen wird. Starkes Funkeln der Sterne, ungewöhnliche Größe derſelben, Höfe um Sterne, um die Sonne und den Mond müſſen, ihrer Natur nach, naſſe Witterung befürchten laſſen, und zwar letzteres um ſo mehr, je größer ſie ſind, weil die Größe der Höfe einen Beweis für ihre geringe Entfernung abgibt.

251. Ein faſt immer ſicheres Vorzeichen der bevorſtehenden Witterung gibt die Geſtalt, Lage und Veränderung der Wolken ab. Lange Federwolken verkünden Wind aus der Gegend, wohin ihre Spitzen zeigen; dasſelbe gilt von gedrängten, gehäuften Federwolken. Geſchichtete Federwolken, beſonders am weſtlichen Himmel, drohen mit anhaltendem ſanften Landregen. Wenn Haufenwolken Früh entſtehen, bis Mittag ſich anhäufen und Nachmittag wieder abnehmen, dauert ſchönes Wetter fort, weil dieſes ein Beweis iſt, daß es ſtarke aufſteigende warme Ströme gebe; ſobald aber der Nachmittag die Haufenwolke nicht mehr zu überwältigen vermag und der nächtliche Himmel noch mehrere derſelben antrifft, ſo iſt auch die untere Luft, in welche dieſe Wolken herabſinken, feucht und es geht die Haufenwolke in die geſchichtete Haufenwolke über und bringt Regen.

Die iſolirt am Himmel ſchwebende Haufenwolke iſt überhaupt ein günſtiges Wetterzeichen, weil ſie das Uebergewicht der von der Erde aufſteigenden, warmen Luftſtröme über den Einfluß der Winde beweiſet; darum ſind ſolche Wolken bei uns im Winter, in den Polargegenden aber immer eine Seltenheit. Regenwolken laſſen wenig befürchten, wenn ſie am öſtlichen Himmel ſchweben, deſto mehr aber, wenn ſie an der Weſtſeite ſtehen, weil ſie im erſten Falle bei dem entſchiedenen Uebergewichte der weſtlichen Winde von uns hinweg-, im zweiten aber zu uns herbeigeführt werden. Darum iſt auch ein Regenbogen am Abende (öſtliche Regenwolken) ein gutes, am Morgen ein ſchlechtes Vorzeichen. Tief ſchwebende Wolken ſind entweder ſehr dicht und daher ihrer Zerſetzung ſehr nahe, oder ſie ſetzen eine große Feuchtigkeit der Luft voraus; ſie ſind daher immer von übler Vorbedeutung, beſonders wenn ſie ſich in der Richtung befinden, von woher die herrſchenden Winde blaſen. Darum befürchtet man ſchlechtes Wetter, wenn die Gipfel der Berge von Wolken eingehüllt erſcheinen, und hofft nicht eher auf Rückkehr eines beſſeren, als bis ſich die Berge an der Regenſeite wieder unbewölkt zeigen; darum dienen gewiſſe Berge, wie z. B. der Zopten in Schleſien und die nordweſtliche Gebirgskette um Wien, als Wetteranzeiger. Das Waſſerziehen der Sonne ſetzt ſehr tief ſchwebende feine Wolken voraus und iſt darum ein Regenzeichen.

252. Ungewöhnlich große **Feuchtigkeit** oder **Trockenheit** der Luft in den unteren Regionen läßt auf naſſe oder trockene Witterung für die Zukunft ſchließen. Darum ſind Hygrometerbeobachtungen ſelbſt in dieſer Beziehung nützlich. Wenn der Thaupunct des Schwefeläther-Hygrometers bei Sonnenuntergang über dem Eispuncte liegt, hat man ſelbſt bei heiteren Nächten in der Regel keinen Reif zu beſorgen, weil ohne Nebelbildung oder Wind die Erkältung nicht unter dieſen Punct fortſchreitet und bei eintretendem Nebel oder Wind faſt nie ein Reif ſich bilden kann. Alles, was auf große Luftfeuchtigkeit ſchließen läßt, verkündet naſſe Witterung. Darum iſt das Rauchen der Wälder, das Niederſchlagen des Rauches, das Stinken von Senkgruben, das Beſchlagen der Mauern und Steine, das Nachlaſſen ſteifer Papiere, das Zerfließen der Salze, das ſtarke Riechen des in der Luft liegenden Chlorkalkes, der ungewöhnlich weiche Ton geleimter muſikaliſcher Inſtrumente, der ungewöhnlich helle Ton ferner Glocken ꝛc., oft von übler Vorbedeutung.

253. Plötzliche Aenderung in der Stärke und im Zeichen der **Luftelektricität** führt in der Regel eine Aenderung im Charakter der Witterung mit ſich. Das Verſchwinden der Luftelektricität deutet auf bevorſtehenden Wind, nicht ſelten auf wäſſerige Niederſchläge.

254. Der größte Theil der Wetterregeln, auf welche der gemeine Mann einen ſo großen Werth ſetzt und ſogar zum Sprichworte gemacht hat, beziehtſich auf den Zuſammenhang der Meteore und ihre periodiſche Wiederkehr; es wird dabei ſtets von der gegenwärtigen Witterung auf die zukünftige geſchloſſen. Viele dieſer Regeln ſte-

hen unter ſich im Widerſpruche, andere ſetzen einen Zuſammenhang zwiſchen Dingen voraus, die von einander unabhängig ſind, einige haben aber Grund und ſind allein einer näheren Erwähnung werth. Dem jährlichen Gange der Wärme gemäß ſteht bei uns der Winter mit dem Frühlinge mittelſt eines Nachwinters, der Sommer mit dem Herbſte mittelſt eines Nachſommers in Verbindung, ja es ſind dieſe vier Extreme gleichſam die Anmahnungen an die heiße Zone, an welche die gemäßigte grenzt. Aber ſowohl die Zeit des Nachwinters als die des Nachſommers iſt innerhalb einer gewiſſen Zeitgrenze verſchieblich. Man ſieht es als ein günſtiges Ereigniß an, wenn der Nachwinter ſchnell auf den eigentlichen Winter folgt, weil dann die Luftwärme zeitlich genug den zum Keimen der Samen nöthigen Grad erreicht. Darauf beruht es, daß man trockenen März ſo hoch anſetzt (Märzſtaub iſt goldeswerth), ſchöne Witterung im Februar ungern ſieht ꝛc. Im ſüdlichen Deutſchland äußern die tropiſchen Regen der heißen Zone ihren Einfluß durch häufige Waſſerniederſchläge. Wenn dieſe eintreten, ſo beginnen ſie im Anfange Juni, und darum hält der Landmann einen Landregen in dieſer Zeit für ein Vorzeichen eines naſſen Sommers. Ein naſſer Frühling und Sommer läßt einen trockenen Herbſt, viel Schnee im Winter einen trockenen Sommer hoffen, weil wir uns unter dieſen Umſtänden während des Frühlings und Sommers oder während des Herbſtes im Südſtrome befinden und daher bei einem Wechſel in den Nordſtrom kommen. Morgenregen gelten faſt allgemein als ſchnell vorübergehend, weil die faſt immer herrſchenden Weſtwinde die Regenwolken vertreiben und die Tageswärme die Wolken verdünnt; Abendregen hingegen werden als anhaltend angeſehen, weil ſie durch die nächtliche Kühle verſtärkt werden und die herrſchenden Winde die Regenwolken zu uns bringen. Dauert nach einem Regen die Wärme fort, ſo bleibt der Südwind herrſchend und wir haben eine Wiederholung eines Waſſerniederſchlages zu befürchten. Eben darum folgt auf ein Gewitter faſt immer ein zweites, wenn nicht auf das erſte eine erquickende Kühle eintritt. Zu reichlicher Thau läßt auf viele Luftfeuchtigkeit ſchließen, das gänzliche Ausbleiben des Thaues iſt ein Zeichen von herrſchenden Winden oder von zu trüber Luft und deutet auf baldigen Regen.

255. Mehrere Beobachter wollen auch einen Zuſammenhang zwiſchen der Witterung und dem Mondesſtande beobachtet haben, und zwar hat Schübler gezeigt, daß ſich dieſer Einfluß des Mondes auf die Regenmenge, Windesrichtung, den Barometerſtand und die Witterungsveränderung beziehe. Kreil hat dargethan, daß es einen Zuſammenhang zwiſchen dem Mondesſtande, dem Luftdrucke, der Lufttemperatur und der Heiterkeit des Himmels gebe. Schüblers Unterſuchungen lehren, daß es am Tage des letzten Viertels am wenigſten regne und daß die Regenmenge allmälig wachſe, am Tage, wo der Mond im zweiten Octanten ſteht, das Maximum erreiche und von da an wieder abnehme. Vom Neumonde bis zum

zweiten Octanten werden in Deutſchland die Süd- und Weſtwinde, um das letzte Viertel hingegen die Oſt- und Nordwinde häufiger; im letzten Viertel ſteht im Durchſchnitte das Barometer am höchſten, im zweiten Octanten am niedrigſten. Es ändert ſich die Witterung am öfteſten, wenn ſich der Mond in der Erdnähe befindet, ſeine Kraft, das Wetter zu ändern, nimmt ab in folgender Ordnung: Neumond nach der Erdnähe, Vollmond, Erdferne, die Quadraturen (Viertel), die Aequinoctien, die Luniſtitien.

Bezüglich des von Kreil zuerſt bemerkten Zuſammenhanges zwiſchen dem Mondesſtande und der Lufttemperatur hat ſich ergeben, daß dieſe Einwirkung des Mondes im Winter viel größer ſey als im Sommer und in erſterer Jahreszeit 0°.4, in letzterer 0°.25, im Durchſchnitte aber 0°.2 R. betrage. Im Sommer fängt die Temperatur zu ſinken an, ſobald der Mond den Meridian überſchritten hat, erreicht beim Untergange deſſelben das Minimum, ſteigt dann wieder bis zur unteren Culmination und behält ihre Höhe unverändert bei, während der Mond öſtlich von dem Meridian ſteht. Im Winter wächſt die Temperatur regelmäßig, während der Mond von der unteren Culmination zur oberen, und ſinkt eben ſo, während er von der oberen Culmination zur unteren übergeht. Die erwärmende Wirkung des Mondes hält nicht mit ſeiner erleuchtenden Kraft gleichen Schritt, ja es gehen dieſe beiden Wirkungen im Sommer zur Zeit des Vollmondes gerade in entgegengeſetzter Richtung vor ſich. Auch auf die Heiterkeit des Himmels hat der Mond Einfluß und zwar hat dieſer eine auffallende Aehnlichkeit mit der Einwirkung des Mondes auf den Luftdruck, indem dem höchſten vom Monde abhängigen Barometerſtande der größte, und dem tiefſten der geringſte Grad der Heiterkeit entſpricht, nur ſind beim Luftdruck die Wendeſtunden etwas weiter von einander entfernt, als bei den Graden der Heiterkeit. Indeß können derlei Unterſuchungen, welche eine ſo große Anzahl von guten Beobachtungen und eine höchſt zweckmäßige Benützung derſelben vorausſetzen, für noch nicht geſchloſſen angeſehen werden.

Nach Toaldo verhält ſich die Wahrſcheinlichkeit, daß ſich das Wetter ändern wird, zu der des Gegentheils bei der Erdnähe des Mondes wie 6 : 1, beim Neumonde nahe wie 6 : 1, beim Vollmonde wie 5 : 1, bei der Erdferne wie 4 : 1, bei den Vierteln nahe wie 2 : 1, bei den Aequinoctien wie 2 : 1. (Essai météorologique. Chambery 1784. 131.) Nach Schübler verhält ſich die Wirkſamkeit des Mondes, die Witterung zu ändern, beim Vollmonde und letzten Viertel wie 1000 : 823, in der Erdnähe und Erdferne wie 1000 : 588. (Ueber den Einfluß des Mondes auf die Aenderung der Atmoſphäre v. Schübler. Leipzig 1830. Kaſt. Arch. für Chemie und Meteor. 4. 13., 161. Eiſenlohr in Pogg. Ann. 30. 72; 35. 141 und 309. Mädler in Schumachers Jahrb. für 1840. S. 252; Kreil's aſtron. meteor. Jahrbuch 1. Jahrg.)

256. Daß viele Thiere die bevorſtehende Witterung anzeigen, iſt bekannt. Es erklärt ſich dieſes zum Theile aus dem geübteren Empfindungsvermögen dieſer ſtets im Freien lebenden Weſen,

theils aus dem Umſtande, daß ſie ihre Nahrung bei bevorſtehender Wetteränderung an einigen Orten leichter finden als an anderen. So z. B. fliegen Schwalben bei drohendem Regen ſehr niedrig, weil ſie in der Nähe des Bodens die Inſecten, welche ſtets die trockenſte und wärmſte Luft ſuchen und die ihnen zur Nahrung dienen, am leichteſten antreffen; Fiſche tauchen aus demſelben Grunde öfter auf und haſchen die über dem Waſſer ſchwebenden Inſecten; Möven ſammeln ſich vor einem Sturme am Meeresufer, um der ausgeworfenen Fiſche habhaft zu werden. Das Ankommen der Zugvögel gilt meiſtens als Zeichen der nahen Frühlingswärme, weil dieſe Thiere der warmen, oberen Luft nachziehen und ſich erwarten läßt, dieſe werde ſich auch bald ſenken und die untere Atmoſphäre erwärmen. Eben ſo ſieht man das Wegziehen derſelben als Zeichen der bevorſtehenden Wärmeabnahme an, weil die in den nördlichen Gegenden wohnenden Thiere ihren Aufenthaltsort alſogleich verlaſſen, ſobald kalte Luft herrſchend wird und durch ihr Ziehen in ſüdlichere Gegenden auch die daſelbſt wohnenden ans Fortziehen erinnern ꝛc.

257. Oft geſchieht es, daß zu gleicher Zeit entgegengeſetzte Wetterzeichen eintreten und den Beobachter in Zweifel ſetzen, welchem von ihnen er mehr trauen ſoll. In einem ſolchen Falle läßt ſich nur dann eine gegründete Vermuthung wagen, wenn eines dieſer Zeichen über die anderen von entſchiedenem Uebergewichte iſt; allein ſelbſt im Falle eines einzigen Vorzeichens darf man das, was die vorhergehenden Regeln angeben, nur für Wahrſcheinlichkeit halten.

(Pilgram über das Wahrſcheinliche der Witterungskunde. Wien 1788. Neue Ideen über die Meteorologie von de Luc. 1787. Lehrbuch der phyſiſchen Aſtronomie, Theorie der Erde und Meteorologie von J. T. Mayer. Göttingen 1805. Syſtematiſcher Grundriß der Atmoſphärologie von Lampadius. Freiberg 1806. Handbuch der Naturlehre von Schmidt. Zweite Abtheilung. Gießen 1813. Die Witterungskunde in ihrer Grundlage von Schön. Würzburg 1818. Anfangsgründe der Naturlehre von Muncke. Zweite Abtheilung. Heidelberg 1820. Deſſelben Handbuch der Naturlehre. Zweiter Theil. Heidelberg 1830. Handbuch der Meteorologie von Kaſtner. Erlangen 1823. Meteorological essays and observations by I. Daniell. London 1833. Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. 3. Band. Halle 1831 und 1832. Deſſen Vorleſungen über Meteorologie. Halle 1840. Die Atmoſphäre und ihre vorzüglichſten Erſcheinungen von Dr. J. F. Günther. Frankfurt am Main 1835. Meteorologiſche Unterſuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Abriß einer Geſchichte der neueren Fortſchritte und des gegenwärtigen Zuſtandes der Meteorologie von J. Forbes, überſetzt und ergänzt von Mahlmann. Berlin 1836.)

Regiſter.

(Die Zahlen bedeuten die Seite.)

A.

Abdrehen 123.
Abend (Weſt) 758.
Abendröthe 905.
Aberration 780.
Abfall eines Gebirges 824.
Abplattung der Erde 769.
Abſidenlinie 774.
Abſorption der Gaſe 35, 200, des Lichtes 652, einzelner Farben 655, Erklärung der dunklen Linien daraus 650, der Wärme 709, 712.
Abſtoßung bei Flüſſigkeiten 136, der Wärme 31, elektriſche 397, magnetiſche 353.
Abweichung, magnetiſche 365, deren Beſtimmung 379, Geſetze 387, des Lichtes ſphäriſche 563, chromatiſche 573, aſtronomiſche 763.
Abweichungskreis 761.
Achromatismus 575.
Action beſtimmte elektrolytiſche 458.
Adhäſion 33.
Aeolsharfe 827.
Aequator, magnetiſcher 365, magnetiſcher der Erde 390, aſtronomiſcher 761, terreſtriſcher 766.
Aequatorialſtrom 59.
Aequatorhöhe 763.
Aequinoctium 761.
Aequivalente chemiſche 54.
Aequivalentenvolum 59.
Aerodynamik 285.
Aeroſtatik 163.
Aether (Aethyloxyd) 77, Himmelsäther 579.
Aethrioſkop 905.
Affinität 36.
Aggregat 23.
Aggregationszuſtand 24.
Aldiniſches Sicherheitskleid 742, Sicherheitspanzer 743.
Alkalien 67.
Alkohol 75, 77.
Allotropie 71, des Kohlenſtoffes, Schwefels und Phosphors 116.
Amalgam 52, Kienmayer'ſches 408.
Analogie zwiſchen Licht und Wärme 715, zwiſchen Schall, Licht und Wärme 751.
Analyſe chemiſche 41.
Anamorphoſen katoptriſche 553.
Anemometer 868.
Anion 456.
Anwandlung des Lichtes 651.
Anziehung 30, allgemeine 90, 797, chemiſche 36, magnetiſche 351, elektriſche 394.
Anziehungsgeſetz, der Schwere 90, des Magnetismus 366, der Elektricität 405, 471.
Apogäum 774.
Apparat, galvaniſcher 439, elektromagnetiſcher 480, magneto-elektriſcher 489.
Aräometer 149, mit Scalen 150, mit Gewichten 153, Procentenaräometer 151, Beaumé's 151.
Armatur des Magnetes 361, einer Franklin'ſchen Tafel 411.
Aſtronomie 758.
Atmometer 882.
Atmoſphäre der Erde 843, Höhe derſelben 843, ihre Zuſammenſetzung 843, Strömungen 867, Druckveränderungen 875, elektriſche 409.
Atom 24, Doppelatom 37.
Atomgewicht 57.
Atomiſt 38.
Atwood'ſche Fallmaſchine 253.
Auflöſung 35.

Auflöſungsmittel 35.
Aufſteigung gerade 763.
Auge 662.
Ausdehnbarkeit 17.
Ausdehnſamkeit der Gaſe 163, wächſt mit dem Drucke 171, mit der Temperatur 173; der Dünſte 211, ſpecifiſche der Gaſe 177.
Ausdehnung 9, Maß derſelben 10, feſter Körper durch die Wärme 124, flüſſiger 131, der Gaſe 174.
Ausdehnſamkeitsmeſſer 170.
Ausflußmenge des Waſſers aus einer Bodenöffnung 273, aus einer Seitenöffnung 274, aus Röhren 274, der Luft 286.
Auslader, elektriſcher 413.
Ausſtrahlungsvermögen für Wärme 708.
Axe, der Drehung 243, der Schwingungspuncte 260, des Magnetes 364, der Kryſtalle 110, elektriſche 529, der doppelten Brechung 608 der Himmelsſphäre 761, der Erde 764.
Azimuth 763.
Azimuthalkreis 761.
Azot 45.

B.

Bahn der Erde 772, der Planeten 781, des Mondes 786, der Kometen 790.
Barometer 164, Arten deſſelben 166. Differenzialbarometer 170, Correction wegen der Capillarität 169, der Wärme 169, wegen Luft 166, dient zum Höhenmeſſen 190, zu Wetteranzeigen 918, periodiſche Veränderungen ſeines Standes 875, Abhängigkeit vom Mondesſtande 883.
Barometerprobe 182.
Baſen 67.
Bathometer 818.
Batterie, magnetiſche 362, elektriſche 439.
Becherapparat 440.
Beobachtung 4.
Berührungselektricität 433.
Bergkryſtall, deſſen eigenthümliche Lichtbrechung 641.
eſtandtheile, chem. 40.
Beugung der Wellen 282, des Lichtes 592, durch einen dünnen Körper 592, durch eine Spalte 593, durch mehrere Spalten 595, Erklärung derſelben 598, Beugung durch Reflexion 606.
Beweglichkeit 14.
Bewegung 15, gleichförmige 237, beſchleunigte 237, über eine ſchiefe Ebene 255, Wurfbewegung 264, Pendelbewegung 217, Centralbewegung 266, Hinderniſſe der Bewegung 249, der tropfbaren, fortſchreitende 271, Wellenbewegung 277, der Gaſe 285, Zuſammenſetzung und Zerlegung 239, durch Molecularkraft 288, bei elektriſchen Zerſetzungen 466, der geleiteten Wärme 716, der Himmelskörper 759, 762, der Erde 773, der Planeten 781, 784, der Kometen 789, der Trabanten 786, des Sonnenſyſtems 802.
Bewegungsgröße 17.
Bild 512, reelles 544, imaginäres 545, im Spiegel 547, 552, 553, in Linſen 564, im Auge 667, elektriſches 424, Daguerre'ſches 697, Talbot'ſches 700.
Bläue des Firmamentes 904.
Blasbalg 195.
Blasinſtrument 318.
Blitz 897.
Blitzableiter 899,
Blitzſtrahl 897.
Blitzröhren 899.
Bodendruck einer Flüſſigkeit 142.
Bor 51.
Borſäure 51.
Bouſſole 481.
Brechbarkeit des Lichtes 569, der Wärme 712.
Brechung, gewöhnliche des Lichtes 554, 555, in einem Prisma 557, in Linſen 560, in einer Kugel 565, verſchiedene Größe derſelben 569, doppelte im Doppelſpath 608, in anderen Kryſtallen 613, in Glas 619, coniſche 618, Erklärung derſelben 614, der Wärme 711.
Brechungsexponent 555.
Brechungsvermögen 557.
Brechungswinkel 554.
Breguet's Thermometer 126.
Breite, aſtronomiſche 763, geographiſche 766.
Breitenkreis 761.
Brennglas 561.
Brennſpiegel 551.

Brennlinie 551.
Brennpunct in einem Spiegel 551, in einer Linſe 561.
Brennſtoff 739.
Brennweite 551, 561.
Brillen 665.
Brillenmeſſer 666.
Brom 49.

C.

Calmen 869.
Calorimetrie 722.
Calorimeter 724, 745.
Camera lucida 676, obſcura 677.
Capacität für Wärme 32, 722.
Capillarität 157, Kräfte die ſie erzeugen 157, Geſetze derſelben 157, damit verwandte Erſcheinungen 161,
Cauſtiſche Linie 551.
Centralbewegung 267, Geſetze derſelben 267, werden von Planeten befolgt 784.
Centralkraft 267.
Ceres 794.
Chamſin 874.
Chemie 7.
Chemiſche Beſchaffenheit der Körper 39.
Chemiſche Verbindung der Stoffe 37, 53, verſchiedener Ordnung 67, als Wärmequelle 735.
Chlor 49
Chromatiſche Tonleiter 315.
Circumpolarſterne 760.
Coercitivkraft 355, Verſchiedenheit derſelben 375.
Cohärenz 31, 117.
Collectivglas 680.
Coluren 773.
Combinationston 347.
Cometen 759, ihre Bewegung 789, Natur und Anzahl 790.
Comma 316.
Communicationsgefäß 142.
Communicationsrohr 311.
Commutator 479.
Compenſationspendel 262.
Compreſſionspumpe 180.
Condenſator 415, Gebrauch deſſelben 415, Theorie 416.
Conductor 408.
Conjunction 781.
Conſtitution feſter Körper 127.
Conſtellation 800.
Conſtruction des gebrochenen Lichtſtrahls 556, 610.
Conſonanz 314
Contactelektricität 433, 531.
Continent 823.
Convexſpiegel 550.
Convexlinſen 559.
Copernicus Weltſyſtem 785.
Culmination 761.
Curve, magnetiſche 371.
Cyan 72
Cyanometer 905.

D.

Dampf 204, ſeine Anwendung 225.
Dampfheitzung 227.
Dampfmaſchine 228, Geſchichte derſelben 229, Effect 233, ihr Brennſtoffbedarf 234.
Daguerre'ſche Bilder 697.
Daniell's Pyrometer 22, Hygrometer 217.
Declinatorium 379.
Deflagrator 444.
Dehnbarkeit 120.
Deſtilliren 226.
Deutlichkeit eines Bildes 545, im Mikroſkope 683, im Fernrohr 693.
Diathermanſie 712.
Diathermanität 710.
Diaphragma 682.
Dichroismus 620.
Dichte 28, feſter und tropfbarer Körper 148, der Gaſe 183, der Dünſte 212, der Planeten 799.
Dienung 822
Diffuſion der Gaſe 199.
Digeſtor, papiniſcher 205.
Diſſonanz 314.
Donner 898.
Donnerkeile 898.
Doppelſpath 608.
Doppelſterne 803.
Dreher, ſchottiſcher 34.
Drehpunct des Auges 667.
Drehungsgeſetz der Winde 872.
Drehwage, magnetiſche 367, elektriſche 398.
Dreiklang 314.
Druck einer Flüſſigkeit nach allen Richtungen 139, auf den Boden 143, auf die Seiten 143, auf eingetauchte Körper 144, hydrodynamiſcher 273, der Luft 164, Ab-

nahme nach oben 189, Mittel, Elektricität zu erregen 527, Wärme zu erregen 735, der feuchten Luft 875.
Druckpumpe 197.
Dualiſten 427.
Dunſtbildung 202.
Dünſte 25, deren Entſtehen 202, latente Wärme 208, Spannkraft, abſolute 210, ſpecifiſche 214, Dichte 211, in der Atmoſphäre 881.
Duplicator 417.
Durchſichtigkeit 654.
Dynamik 81, 236, dynamiſch 38.
Dynamometer, optiſcher 693

E.

Ebbe und Fluth 820, Erklärung 821.
Ebene, ſchiefe 103.
Echo 308.
Eigenſchaften, allgemeine der Körper 9.
Einfallsebene 547.
Einfallsloth 547.
Einfallswinkel 547.
Ekliptik 761, Schiefe derſelben 772.
Elaſticität 119, deren Maß 119, der Flüſſigkeiten 134.
Elaſticitätsfläche 616.
Elektricität 394, poſitive und negative 397, galvaniſche 433, Luftelektricität 894, Erregungsmittel derſelben 524, Mittheilung derſelben 395, Vertheilung 400, gebundene und freie 401, im Gleichgewichte 404, an der Oberfläche angehäuft 405, Maß derſelben 404, Verluſt 407, in Bewegung 395, Geſchwindigkeit derſelben 418, Wirkungen chemiſche 424, 450, auf einen Magnet 467, auf weiches Eiſen 473, theoretiſche Anſicht 426.
Elektriſirmaſchine 408, ihre Stärke 409.
Elektroden 456.
Elektrolyte 450.
Elektromagnet 474.
Elektromagnetismus 467.
Elektrometeore 894.
Elektroſkop 397, 407, 434.
Elektromotor 516.
Elektroſtatik 404.
Elektrophor 414.
Element, chemiſches 43, magnetiſches 356.
Eliasfeuer 898.
Emanationshypotheſe 580.
Emiſſionsvermögen für Wärme 708.
Endosmoſe 163.
Entfernung, ſcheinbare 668, der Fixſterne 802.
Entladung elektriſche 418, leuchtende 419, dunkle 422.
Epicykel 782.
Erdaxe 766.
Erdbahn, ihre Neigung gegen die Axe 772, ihre Aenderung 779.
Erde, ihr Magnetismus 378, 384, Geſtalt 764, Größe 769, Bewegung 764, 772, Abplattung 769, Dichte 805, ihre Veränderungen 832.
Erden 68, Erdbeben 835.
Erfahrung 4.
Erfahrungsnaturlehre 4.
Ergänzungstheilchen 113.
Erkaltung, ihre Geſetze 721.
Erleuchtung 543.
Erſcheinungen 3
Erſchütterung durch Elektricität 422, 447.
Erwärmung durch die Sonne 846, Druck und Reibung 734, chemiſche Wirkung 736, Elektricität 423, 448, Lebensproceß 737.
Eſſiggährung 77.
Eudiometer 46.
Exosmoſe 163.
Expanſivkraft des Dampfes 212.
Experiment 4.
Experimentalphyſik 7.

F.

Fall, freier 253, über eine ſchiefe Ebene 255, durch die Sehne und den Bogen eines Kreiſes 256, in einem widerſtehenden Mittel 254.
Fallmaſchine Atwood'ſche 253.
Farben des Spectrums 568, objective 671, dünner Körper 646, im polariſirten Lichte 637, ſubjective 672, complementäre 570.
Farbenbild, prismatiſches 568.
Farbenglas Newton'ſches 647.
Farbenkreiſel 671.
Farbenmeſſer 636
Farbenringe, Newton'ſche 647, polariſirte 638, elektriſche 464
Farbenzerſtreuung 567, eines doppelt brechenden Körpers 619.

Fäulniß 78.
Federwolke 888.
Fernröhre 686, dioptriſche 688, katoptriſche 691.
Feſtigkeit 121.
Feuchtigkeitsgrad 223.
Feuerkugel 916.
Feuermeteore 914.
Feuerſäule 910.
Feuerſpritze 197.
Figuren, Lichtenberg'ſche 410, elektriſche 424.
Findlinge 834.
Finſterniß 787.
Firmament, Farbe deſſelben 905.
Fiſche, elektriſche 537.
Fixſterne 759, ihre Größe und Entfernung 802.
Fläche, cauſtiſche 551.
Flamme 743.
Fliehkraft 242.
Flötenwerkspfeifen 319.
Fluor 50.
Flußſäure 67.
Flußſyſtem 811.
Flüſſe 811.
Flüſſigkeit, Maß derſelben 138, ihre Zuſammendrückbarkeit 134.
Flüſſigkeitswärme 129.
Folgepuncte, magnetiſche 358.
Formationen der Erde 840.
Fortpflanzung eines Impulſes 293.
Fraunhofer'ſche Linien 572.
Fresnel'ſches Parallelepiped 633.
Froſtmiſchungen 129.
Fundamentalverſuch, Volta'ſcher 435.
Funkeln der Sterne 908.
Funken, elektriſche 449.

G.

Gährung 75.
Galvanismus 433.
Galvanometer 481.
Galvanoplaſtik 462.
Gaſe 26, können tropfbar werden 25, 172, werden abſorbirt 35, 200, ihr Gleichgewicht 186, ihre Bewegung 285.
Gasmikroſkop 686.
Gaſometer 195.
Gebirge 824, Meſſen ihrer Höhe 824.
Gebirgsſyſteme 830.
Gehörorgan 342.
Geographie, phyſiſche 803.
Geräuſch elekt. 421.
Geſchwindigkeit 15, bei der gleichförmigen 15, bei der gleichförmig beſchleunigten Bewegung 15, der frei fallenden Körper 213, über eine ſchiefe Ebene 255, der Wellen 279, eines longitudinalen Impulſes 294, des Schalles 304, der Elektricität 418, des Lichtes 546, der Wärme 709, der Flüſſe 813, der Winde 868.
Geſichtsfeld, in optiſchen Inſtrumenten 682.
Geſichtswinkel 667.
Gewicht 27, abſolutes, ſpecifiſches 28, iſt die Reſultirende der Schwerkräfte 91, Beſtimmung des ſpecifiſchen flüſſiger 150, feſter Körper 151, der Gaſe 183, der Dünſte 212.
Gewäſſer der Erde 807.
Gewitterwolken 896.
Gleichgewicht der Theile feſter Körper 106, der Flüſſigkeiten 139, der freien Gaſe 186, der abſorbirten Gaſe 200, der gemengten 198, der Dünſte 214, der Kräfte an Maſchinen 96.
Gleichgewichtsfläche, magnet. 371.
Gletſcher 833.
Glimmer elekt. 421.
Glühlampe 743.
Golphſtrom 822.
Gramme 27.
Graupenhagel 900.
Gravitation 797.
Größe, ſcheinbare 667, der Bewegung 17.
Grundſtoffe 41, Aufzählung derſelben 42.
Grundton 313.
Gyrotrop 479.

H.

Harröhrchen 157, verwandte Erſcheinungen 161.
Hagel 900.
Hagelableiter 903.
Halbleiter 396.
Halbſchatten 542.
Harmattan 874.
Harmonica, chemiſche 318.
Haufenwolke 889.
Färbung der Linſenbilder 574.

Hauptaxe 110.
Hauptſchnitt 608.
Hauptſtrahl 547, 559.
Hausrath, chemiſcher 42.
Hebel 97.
Heber, anatomiſcher 142, Stechheber, gekrümmter Heber 193, Stoßheber 276.
Heberbarometer 167.
Helena St. 898.
Helioſtat 548.
Heliotrop 548.
Heronsball, Heronsbrunnen 196.
Heß's Waſſermaſchine 244.
Himmelsſphäre 758.
Hinderniſſe der Bewegung 249.
Höfe 908.
Höhe, aſtronomiſche 763.
Höhenmeſſung 824.
Höhenrauch 889.
Hohlſpiegel 550.
Holzmann's Thermometer 126.
Horizontale Linie 26.
Hören 342.
Hörrohr 311.
Hydrogen 44.
Hydrodynamik 271.
Hygrometer 216.
Hygroſkopiſche Körper 223.
Hypotheſe 6.

J.

Jahr, tropiſches, ſideriſches 776, anomaliſtiſches 780, Schaltjahr 776.
Jahreszeiten, aſtronomiſche 777, ihre Dauer 778, phyſiſche 852.
Imponderabilien 38.
Inclinatorium, magnetiſches 381, 383, 492.
Indifferente Stoffe 62.
Indifferenzpuncte, magnetiſche 372.
Induction 4, elektriſche 485, unipolare 497.
Inſeln 793.
Inſtrumente, Blas- 318, optiſche 676.
Interferenz der Waſſerwellen 281, des Schalles 309, des Lichtes 582.
Intervall 315.
Joch 824, Breite 826, deſſen Richtung 827, Höhe 827.
Jod 50.
Jon 450.
Irradiation 664.
Irrlichter 916.
Iſomerie 71.
Iſothermen 856.
Iſolatoren 395.
Julianiſche Zeitrechnung 776.
Juno 794.
Jupiter 793.

K.

Kältepole der Erde 857.
Kaleidophon 331.
Kaleidoſkop 550.
Kammer, dunkle 542, lichte 676.
Karten, geographiſche 768.
Kation 456.
Katalyſe 40.
Keil 105.
Kepler's Geſetze 268.
Kerngeſtalten 113.
Kernſchatten 542.
Kette, galvaniſche einfache 433, zuſammengeſetzte 439, thermo-elektriſche 498.
Kieſel 51.
Klang 304.
Klangfiguren 335, Bewegung derſelben 337, bei mittönenden Körpern 341.
Klima, allgemeines darüber 865.
Knallluft 44.
Kniepreſſe 97.
Knoten 761.
Knotenlinie 283.
Kohlen, Braun- und Steinkohlen 835.
Kohlenſtoff 48.
Kohlenoxyd 72.
Kohlenwaſſerſtoff 72.
Kohlenſäure 67.
Kometen, ihre Bewegung 789, Natur und Anzahl 790.
Kometenſucher 687.
Körper 3, ihr Aggregationszuſtand 24, materielle Verſchiedenheit 39.
Körperwelt 3.
Kraft 14, Grundkräfte 30, katalytiſche 40, Zuſammenſetzung und Zerlegung 81, ihr Mittelpunct 87, Fliehkraft 242, Centralkraft 267, magnetiſche 351, 366, Coercitivkraft 355, elektromagnetiſche 434, der elektriſchen Ströme 471, lichtbrechende 557.
Krater der Mondberge 795, an Erdvulcanen 837.
Kräftenparallelogramm 83.

Kreuzungspunct 667.
Kryſtalle 25, 106. Entſtehen derſelben 107, Beförderung des Entſtehens 108, Kryſtallaxen 110, einfache Geſtalten 110, Kryſtallreihen 111, Ableitung 111, innerer Bau 113, doppelt brechende 613, Ausdehnung durch die Wärme 125, pyroelectriſche 529.
Kryſtalliſationswaſſer 109.
Kryophor 207.
Kurzſichtige, 665.
Küſten des Meeres 817.

L.

Ladungsſäule 444.
Lampenmikroſkop 685.
Landhöhen 827.
Landkarten 768.
Länge, aſtronomiſche 763, geographiſche 766, reducirte eines elekt. Leiters 507.
Längenſchwingungen der Luft 318, der Saiten 327, der Stäbe 332.
Lava 837.
Leere, torricelliſche 165.
Leidnerflaſche 412.
Leiter der Elektricität 396, einpolige zweipolige 444, der Wärme 716.
Leitfähigkeit für Elektricität 395, für Wärme 716, Beſtimmung derſelben 720.
Leitungswiderſtand 507, 519, 522.
Leitungsgeſetze 522.
Leuchten der Wolken 898, des Meeres 819.
Licht, allgemeine Betrachtungen 540, geradlinige Fortpflanzung 541, 607, Geſchwindigkeit 546, Reflexion 545, Brechung einfache 554, doppelte 608, coniſche 618, Farbenzerſtreuung 567, Interferenz 582, Beugung 592, Polariſation 620, Abſorption 652, unſichtbares 702.
Lichtbilder 696
Lichtbüſchel elekt. 421.
Lichterbrunnen 196.
Lichtſtärke 543.
Lichtſtrahl 541, polariſirter 620.
Linien, Fraunhofer'ſche 572, iſogoniſche 390, iſodynamiſche 390, iſobarometriſche 878, iſothermiſche 856, iſoteriſche, iſochimeniſche 857, iſochromatiſche 638.
Linſen 559, Sammellinſen, polygonale 559, Zerſtreuungslinſen 559, achromatiſche 575, aplanatiſche 576, dialytiſche 688.
Liter 10.
Llanos 829.
Loupen 678. Wilſon'ſche 679.
Luft, atmoſphäriſche 76, ihre Beſtandtheile 843, Dichte 183, Druck 164, 834.
Luftballon 191.
Luftdruck 164, Variationen deſſelben 875.
Luftelektricität 894.
Luftheizung 723.
Luftpumpe 177, mit Hahn 178 mit Ventil 180, Verſuche mit derſelben 183.
Luftſpiegelung 908.
Luftſtrömungen 867.
Luftthermometer 175.

M.

Magazin, magnetiſches 362.
Magdeburgiſche Halbkugeln 183.
Magnet 351, ſeine Pole 353, Erzeugung 357, Wirkung zweier auf einander 338.
Magazin, magn. 362.
Magnetiſiren durch Streichen 357, durch Elektricität 425, 473
Magnetismus, Vertheilung im Innern eines Stabes 368, Wirkung äußerer Umſtände auf ihn 372, der Wärme 373, der Erde 378, des weichen Eiſens 376, der Lage 377.
Magnetnadel 353, aſtatiſche 363, Ablenkung durch Elektricität 470.
Magneto-Elektricität 485.
Magneto-elektriſche Maſchine 488.
Magnetometer 367, 373.
Manometer 191, 379, 386.
Mariotte'ſches Geſetz 171.
Mariotte'ſche Flaſche 194.
Mars 793.
Maſchine, einfache, zuſammengeſetzte 97, 105.
Maß der Länge 11.
Maßbeſtimmungen der elektr. Kette 503.
Maſſe 12.
Materie 3, magnetiſche 355, elektriſche 427.
Mechanik 81.

Meeresboden 818.
Meerwaſſer 819.
Megaſkop 686.
Membrane, geſpannte, deren Schwingungen 330.
Meridian, magnetiſcher 365, aſtronomiſcher 761.
Merkur 793.
Metacentrum 146.
Metameriſche Stoffe 71.
Metamorphoſe, chemiſche 74.
Meter 10.
Metalle 51.
Meteorologie 842.
Meteorſteine 916.
Mikrometer, Rochon'ſches 613.
Mikroſkope, dioptriſche 677, katoptriſche 684, einfache 678, zuſammengeſetzte 680, Wollaſton'ſche 679, Lampen-, Gas-, Sonnenmikroſkop 685.
Milchſtraße 801.
Mineralwaſſer 810.
Mittag (Süd) 760.
Mittagsebene 761.
Mittagskreis, erſter 766.
Mittel, ihr Widerſtand 252.
Mittelpunct, optiſcher 559.
Mitternacht (Nord) 760.
Mittönen 339.
Molekel 24.
Molekularkraft 30, an Flüſſigkeiten 136, 138.
Moment einer Kraft, ſtatiſches 88, der Trägheit 241, magnetiſches 364.
Mond, Bewegung 786, Phaſen 787, Größe und Entfernung 795, Beſchaffenheit 795, Finſterniſſe 787.
Mondmonat 786.
Mondzirkel 789.
Mongolfier 191.
Monochord 313.
Morgen (Oſt) 760.
Morgenröthe 905.
Mouſſons 871.
Multiplicator, elektriſcher 481.

N.

Nachhall 303.
Nachſommer 849.
Nachtbogen 762.
Nachtfernrohr 687.
Nachtgleichen 761.
Nadir 761.
Natur, Naturkunde 3, Naturgeſetz 4, Naturgeſchichte 4, Naturlehre 4, ihr Nutzen 7.
Naturerſcheinungen im Großen 755.
Naturgeſetz 4.
Nebel 889.
Nebelflecken 802.
Nebenplaneten 759, 786.
Nebenſonnen, Nebenmonde 909.
Neigung, magnetiſche 353, Beſtimmung derſelben 381, Aenderung 388.
Neumond 787.
Neutralſalz 69.
Neutraliſirendes Eiſen 377.
Niveau 141.
Nonius 11.
Nord 760.
Nordlicht 903.
Nordpol 761.
Nutation 779.

O.

Oaſen 829.
Oberfläche der Flüſſigkeiten 140, der Atmoſphäre 187.
Objectiv zu Mikroſkopen 680, Fernröhren 687, aplanatiſches 681.
Ocular zu Mikroſkopen 681, Fernröhren 88, 692, pancratiſches 691.
Oefen chemiſche 42.
Oerſted'ſcher Verſuch 470.
Ohm'ſches Geſetz 503.
Ohr des Menſchen 342.
Ombrometer 891.
Operngucker 549.
Oppoſition 781.
Orgelpfeifen 319.
Ort geocentriſcher, heliocentriſcher 783.
Oſt 760.
Oxalſäure 67.
Oxyd 43.
Oxygen 43.

P.

Pallas 794.
Paradoxon, hydroſtatiſches 142, aerodynamiſches 287.
Parallaxe 771.
Parallelkreiſe aſtronomiſche 761, terreſtriſche 766.
Paſſageinſtrument 762.

Paſſatwind 869, obere 870.
Paſſivität der Metalle 465.
Paß 827.
Pendel einfaches 257, zuſammengeſetztes 260, Reverſionspendel 260, als Zeitmeſſer 263, Compenſationspendel 263, magnetiſches 365.
Perigäum 774.
Perturbationen 798.
Phaſen der Schwingungen 289, des Mondes 787.
Phänomen 3.
Phosphor 50.
Phosphorſäure 66.
Photographie 696.
Photometer 723 659.
Phyſik 7.
Planeten 759, jährliche Bewegung derſelben 796, bewegen ſich um die Sonne 782, ihre Natur 792.
Platten elaſtiſche, deren Schwingungen 335, gekrümmte 337.
Polardrähte 442, werden ſelbſt elektriſch 465, magnetiſch 473, wirken auf einander 476.
Polariſation des Schalles 342, des Lichtes 620, unvollkommene 627, circulare 594, elliptiſche 633, der Wärme 715, elektriſche der Metalle 504.
Polariſationsinſtrument 643, Winkel 623.
Polariſationsebene, Drehung derſelben 643.
Polariſationsrichtung 623.
Polariſkop 645.
Polardraht 442.
Polarkreiſe 766.
Pole des Magnetes 352, magnetiſche der Erde 391, mathematiſche 364, elektriſche 529, 443, 451, des Himmels 761, der Erde 766.
Polhöhe 762.
Polymerie 71.
Poroſität 26.
Präceſſion 779.
Preſſe Real'ſche 143, Bramah'ſche 140.
Prisma, Nicol'ſches 627, Rochon'ſches 643, achromatiſches 575.
Probeobject 683.
Probeſcheibe 399.
Procentenaräometer 151.
Projectionsarten 768.
Ptolomäus, Weltſyſtem 784.
Pumpe für Waſſer 196, Luft 177.
Pyrometer 22 124.
Pyrophor 739.

Q.

Quadratur 781.
Quellen 807.
Queckſilberthermometer 18.
Querſchwingungen der Saiten 326, der Stäbe 330.

R.

Rad an der Welle 101, Segner'ſches 144, Barlow'ſches 468.
Raum, leerer, torricelliſcher 165, ſchädlicher 179.
Rauch 744.
Rauminhalt 9.
Reagentien 41.
Reflexion beim Stoß 248, der Wellen 282, des Schalls 307, des Lichtes 547, totale 555, der Wärme 710.
Reflexionsgoniometer 548.
Reflexionsvermögen, thermiſches 790.
Reflexionswinkel 547.
Refractoren 687.
Regen 890.
Regenbogen 911.
Regengallen 912.
Regenmenge 891.
Regenwaſſer 892.
Reibung 250, Verſuche darüber 250, Quellen der Elektricität 924, der Wärme 734.
Reibungsexponent 250.
Reibungsmeſſer 250.
Reibzeug 408.
Reif 886.
Reſonanz 339.
Reſonanzfiguren 341.
Reſultirende Kraft 82, Bewegung 230.
Reverſionspendel 260.
Richtungsſtrahl 667.
Rillen 795.
Ringe, Nobili'ſche 464, Newton'ſche 647, polariſirte 638.
Rochon'ſches Prisma 643.
Rolle 102.
Römerzinszahl 789
Rohrwerkspfeifen 323.
Roſtpendel 262.
Rotiren um eine Axe 240, elektromagnetiſches 467.

Rotationsmaſchine 489.
Rotationsmagnetismus 494.
Rückſchlag 900.

S.

Sättigung chemiſche 35, mit Dünſten 99.
Sauerſtoff 43.
Säure 63.
Salpeterſäure 64.
Salze, Haloidſalze 61, 68, 70.
Salzſäure 66.
Sammellinſe 559.
Samum 874.
Saturn 794.
Saugpumpe 196.
Säule, elektriſche 43, Volta'ſche 439, trockene 445, zweielementige 446, aus einem Metall 445, thermoelektriſche 501.
Säure 61, 62, 73.
Saiten-Schwingungen 326.
Schall 302.
Schallmittel 303, Geſchwindigkeit in der Luft 305, in anderen Körpern 306.
Schallwellen 305.
Schallſtrahl 306.
Schaltjahr 777.
Schatten 543, gefärbte 673.
Scheibe, ſtroboſkopiſche 675.
Schichtwolke 889.
Schiefe der Ekliptik 773, iſt veränderlich 779.
Schiefe Ebene 103.
Schlagweite, elektriſche 403.
Schmelzen 129.
Schnee 893.
Schneegrenze 855.
Schnellwage 101.
Schraube 103.
Schweben der Töne 347.
Schwefel 50.
Schwefelſäuren 65.
Schwefelwaſſerſtoff 66.
Schwere 26, Theorie derſelben 89, allgemeine 797.
Schwerkraft 30.
Schwerpunct 92
Schwimmen, natürliches 145, künſtliches 148.
Schwingungen überhaupt 288, ſelbſttönender Körper 317, der Luft 318, der Saiten 326, Membranen 330, Stäbe 330, Platten 335, mittönender Körper 339, des Aethers 579, Wärmeſchwingungen 751.
Schwingungsknoten 302.
Schwingungsweite 289.
Schwungkraft 242.
Schwungmaſchine 794.
See 815.
Seegeſicht 907.
Seekarten 769.
Segner'ſches Rad 144.
Sehen 663.
Sehweite 665.
Seilmaſchine 97, Vera'ſche 34.
Selen 50.
Sicherheitslampe 742.
Sicherheitskleid 742.
Sicherheitspanzer 743.
Sicherheitsrohr 194.
Sieden 204.
Siedhitze 205.
Sirocco 874.
Sinnenwelt 3.
Solenoid, elektriſches 484.
Solſtitium 773.
Sonne, ihre ſcheinbare Bewegung 772, Beſchaffenheit 791, Finſterniſſe 788, ihr Wärmeeffekt 816.
Sonnenfackeln 791.
Sonnenflecken 791.
Sonnenmikroſkop 685.
Sonnentag 776.
Sonnenzirkel 777.
Sonntagsbuchſtabe 777.
Spannkraft der Dünſte 210.
Spannung, elektriſche 395.
Spannungsreihe, elektriſche 435.
Spectrum 568.
Spiegel 545, ebene 547, ſphäriſche 551, cylindriſche und coniſche 547, Winkelſpiegel 553, Lieberkühn'ſche 679.
Spiegelſextant 549.
Sprachrohr 311.
Springbrunnen 275.
Sprödigkeit 120.
Stabilität 95.
Stäbe, ihre tönenden Schwingungen 330, 333.
Statik 81.
Stechheber 193.
Steppen 830.
Sternbild 800.
Stereoſkop 669.
Sterne, fixe 759.
Sternſchnuppen 915.

Sternenſyſtem 803.
Sterntag 775.
Stickſtoff 45.
Stimmorgan 324.
Stöchiometrie 57.
Stoß 244, unelaſtiſcher 245, elaſtiſcher Körper 246, ſchiefer 248, excentriſcher 249, des Waſſers 276, der Luft 288, iſt Quelle der Wärme 735.
Stoßheber 276.
Stoßmaſchine 247.
Strahl des Schalles 306, des Lichtes 541, der Wärme 705.
Strahlenbrechung, aſtronomiſche, terreſtriſche 907.
Strand 817.
Strich, einfacher 357, doppelter 358, Kreisſtrich 361.
Strom, elektriſcher 395, ſeine Geſchwindigkeit 418, ſeine Wirkungen 447, ſeine magnetiſirende Kraft 473, ſein abſolutes Maß 483, chemiſche Wirkung 450, inducirter 485, thermo-elektriſcher 498, Wirkung zweier auf einander 477, magneto-elektriſcher 488, in rotirenden Metallſcheiben 493.
Stromgebiet 811.
Stromſtrich 813.
Struktur der Kryſtalle 112.
Subjectiver Ton 344.
Süd 760.
Südpunct 761.
Südlicht 903.
Sumpf 815.
Syrene 312.

T.

Tafel der Längenmaße 11, der Gewichte 27, der Grundſtoffe 59, der Elaſticitätsmaße 119, der Ausdehnung feſter Körper durch die Wärme 125, der tropfbaren Körper 133, der Gaſe 186, der Schmelzpuncte 131, der Compreſſibilität der Flüſſigkeiten 135, der Beaumeſchen Aärometergrade 153, der Dichte 154, der Capillardepreſſion 169, der Druckkraft für Liquefaction der Gaſe 172, der Siedhitzen 207, der Spannkraft der Dünſte 212, des Hygrometers 221, der Tonwerthe 315, des elektriſchen Verzögerungsvermögens 424, der Elektromotoren 517, des Lichtbrechungsvermögens 558, der Farbenzerſtreuung 578, der Lichtwellenlängen 603, der Helligkeit des Mondes 661, der Planeten 661, der Wärmeſtrahlung 709, der Diathermanität 713, der ſpecifiſchen und relativen Wärme 726, 728, der durch chemiſche Wirkung entwickelten Wärme 736, der Dimenſionen der Erde 770, der Tageslänge 779, der Maſſe und Dichte der Himmelskörper 800, der Stromgebiete 811, des Meerwaſſergehaltes 820, der den Barometerhöhen entſprechenden Höhen 825, der mittleren Monatwärme in Wien 849, der Höhe der Schneegrenzen 856, der mittleren Jahreswärme 858, der Vegetationsgrenzen 860, der Bodenwärme 863, der Wärme beider Hemiſphären 866, der herrſchenden Winde 871, des Luftdruckes bei verſchiedenen Winden 873, der Barometerſchwankungen 878, der einzelnen Wärmegraden entſprechenden Barometeränderungen 880, der Verdunſtung in verſchiedenen Breiten 882, des Dunſtdruckes 883, der mittleren Feuchtigkeitsgrade 884, der Feuchtigkeit bei verſchiedenen Winden 885, der Regenmenge 894.
Tafel, Franklin'ſche 411.
Tag, Sonnentag, Sterntag 775.
Tagbogen 762.
Tangentialkraft 267.
Taucherglocke 192.
Täuſchungen, optiſche 676.
Telegraph, elektriſcher 483, elektromagnetiſcher 493.
Teleſkope 686.
Temperatur 18, der Luft 846, des Tages 847, des Jahres 850, des Inneren der Erde 831, der oberen Luftſchichten 861.
Temperiren der Töne 316.
Thau 885, ſein Entſtehen 886.
Thaumatrop 675.
Theilbarkeit 23.
Theilung des elektr. Stromes 508.
Thermoelektricität 498, des Turmalins 529.
Thermoſäule 707.
Thermometer, Queckſilberthermome-

ter 18, Weingeiſt 21, Maximum und Minimum-Thermometer 21, Luftthermometer 175, Differenzialthermometer 706, Metallthermometer 126, Contacttherm. 719, Geothermometer 682.
Thierkreis 781.
Ton 304, deſſen Höhe 312, Grundton 313. ſubjektiver 345.
Tonleiter 313, chromatiſche 315.
Torf 835.
Torricelliſche Leere, Röhre 165.
Trabanten 759.
Trägheit 13.
Trägheitsmoment 241.
Transverſalmagnet 361.
Transverſalſchwingung 298, 318.
Trennung der Theile als Elektricitätsquelle 528.
Trevelyan's Inſtrument 303.
Tribometer 250.
Trogapparat 440.
Tropfbare Körper 26.
Tubus 687.
Turmalin, deſſen Elektricität 529
Turmalinplättchen 627.
Tycho de Brahe's Weltſyſtem 784

U.

Undeutlichkeit 574
Undulationshypotheſe 579, Erklärung der Reflexion 586, und Brechung 588, der Dispersion 591, der Beugung 598, der doppelten Brechung 610, der Polariſation 623, der Wärme 751.
Undurchdringlichkeit 12.
Unitarier 427.
Untergang (Weſt) 760.
Unterſtützungspunct 97.
Uranus 794.

V.

Vegetation, Quelle der Elektricität 896, Zuſammenhang mit der Temperatur 860.
Venus 792.
Veränderungen der Erdoberfläche 832, durch die Luft 832, durch Waſſer 833, durch org. Weſen 834, durch Erdbeben 835, durch Vulcane 836.
Verbindung, chemiſche 39.
Verbrennen 739, Temperatur dazu 740, Product 743, Wärme 744, Licht 746.
Verdünnung, Quelle von Kälte 735.
Verdünſtung 202, Grenzen derſelben 204, Wärmebindung dabei 207, jährliche 882.
Vergoldung elektr 463.
Vergrößerung durch Mikroſkope 679, 683. Fernröhre 687.
Verhältniß, ſtatiſches 96.
Verſuch 4
Verſchiebung der Theile 117.
Vertheilung elekt. 400.
Vertheilungsvermögen elekt 401
Verwandtſchaft, chemiſche 36.
Veſta 794
Vollmond 787.
Voltameter 457.
Volum 9.
Vorgebirge 828.
Vorrücken der Nachtgleichen 779
Vulcane 837, deren Entſtehen 837, Ausbruch, Ruhezeit 838.

W.

Wage 99, Theorie derſelben 99, Schnellwage 101. hydroſtatiſche 149.
Wagmanometer 191.
Wahlverwandtſchaft 39.
Wahrſcheinlichkeitsrechnung 5.
Wallebenen 795.
Wärme 31, ſpecifiſche 32, ſtrahlende 705, geleitete 716, gebundene 32, Quellen derſelben 732, Verhältniſſe auf der Erde 846.
Wärmecapacität 32, Beſtimmung derſelben 723, 724, 727, 728.
Wärmeſtoff 749.
Wärmeſtrahlen 704, Emiſſion derſelben 708, Abſorption, äußere 709, innere 711. Reflexion 710, Durchlaſſung 710, Brechung 711, Polariſation 717.
Waſſer, reines 44, ſpecifiſches Gewicht deſſelben 133, Quellwaſſer 809, Flußwaſſer 812, Seewaſſer 816, Meerwaſſer 819, Regenwaſſer 892.
Waſſerhoſen 874.
Waſſermeteore 884.
Waſſerſäulenmaſchine 142.
Waſſerſtoff 44
Waſſerwage 147.
Waſſerziehen 907.
Weingeiſt (Alkohol) 77.
Weingeiſtthermometer 21.

BAYERISCHE STAATS BIBLIOTHEK MUENCHEN

Weiße eines Körpers 658.
Weitſichtige 665.
Wellen des Waſſers 277, ihr Entſtehen 278, ihr Fortſchreiten 279, Reflexion 282, Beugung 282, Interferenz 281, ſtehende 283. in der Luft 297, auf dem Meere 823, des Schalls 305, des Lichtes 603
Wellenberg 277.
Wellenfläche 300.
Wellenrinne 279.
Wellenthal 277.
Wellrad 101.
Weltall 800.
Weltaxe 761.
Weltordnung 785.
Weltmeer 816, Tiefe 818, Leuchten 819, Salzigkeit 819, Bewegung 820.
Welttheile 806.
Wendekreiſe 773.
Weſt 760.
Wetterleuchten 898.
Wetterregeln 917.
Wetterſäule 874.
Widerſtand des Mittels 252.
Wiederhall 308.
Wind 867, Stärke 868, beſtändige 869, periodiſche 870, unregelmäßige 872.
Windbüchſe 197.
Windroſe, barometriſche 873, thermiſche 873.
Winkelgeſchwindigkeit 240.
Winkelſpiegel 549.
Witterung 842.
Wolken 887, Farbe, Größe und Bewegung derſelben 887, 888, Geſtalt 888.
Wolkenbruch 890.
Wurf 264.
Wurfweite 265.
Wüſten 828.

Z.

Zahl, ſtöchiometriſche 54, goldene 789.
Zauberlaterne 686.
Zauberperſpektiv 549.
Zeichenſprache, chemiſche 58.
Zeit, Meſſen derſelben durch Pendel 262, durch Erdbewegung 775.
Zeitgleichung 776.
Zeitmeſſer 262.
Zeitrechnung 776.
Zenith 716.
Zerlegung der Kräfte 82. der Bewegung 239. chemiſche 424. 450
Zerreißen 120, Zerdrücken 122, Zerbrechen 121.
Zerſetzung, chemiſche 39, durch Elektricität 424, 450.
Zerſtreuung des reflectirten Lichtes 545, der Wärme 710.
Zerſtreuungslinſen 559.
Zerſtreuungsverhältniſſe 577.
Zerſtreuungsvermögen 577.
Zodiakallicht 914.
Zonen 851.
Zucker 75.
Zündſtoff 739.
Zungenpfeifen 323.
Zuſammenhang der Körper 117, der Flüſſigkeiten 134.
Zuſammendrückbarkeit 17, der Flüſſigkeiten 134.
Zuſammenziehung des Waſſerſtrahles 273, eines Luftſtrahles 286.

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

Verbeſſerungen.

Seite	Zeile				Leſe man:
40	8	v. o.	ſtatt	Zinkoxyd von eſſigſaurem Bleioxyd	eſſigſaures Bleioxyd vom Zink
43	7	v. o.	»	Moſeander	Moſander
54	14	v. o.	»	12.5 wohl	12.5mal
64	33	v. u.	»	$S_2 O_8$	$S_2 O_5$
—	19	v. u.	»	$S_3 O_5$	$S_3 O_4$
70	24	v. o.	»	der zweiten Ordnung	der erſten Ordnung
109	21	v. u.	»	Einfluſſes	Einſchluſſes
116	21	v. o	»	allotrophiſchen	allotropiſchen
166	21	v. u.	»	Hat man für einen	Hat man einen
169	20	v. o.	»	o.2 M m	1·2 M m
174	26	v. o.	»	des Gaſes	des Glaſes
198	10	v. u.	»	Q	Q′
213	19	v. o.	»	$7{\cdot}94\sqrt{5}$	$7{\cdot}94\sqrt{2}$
262	10	v. u.	»	C′ E′ D′	C′ E D′
265	10	v. u.	»	$\alpha - c\,t \sin \frac{g t^2}{2}$	$c\,t \sin \alpha - \frac{g t^2}{2}$
269	11	v. o.	»	B E : C D	C E : C D
287	18	v. u.	»	Fig. 143	Fig. 145
296	12	v. u.	»	$c = \sqrt{\frac{g}{h}}$	$c = \sqrt{\frac{g}{k}}$
298	20	v. o.	»	p r	q r
—	25	v. o.	»	p g	p q
368	16	v. u.	»	ſo verborgene	ſo eben vorgetragene
370	5	v. o	»	$\frac{2 R \rho a}{(a^2 - {}^1/_4\, \rho)^2}$	$\frac{2 R \rho a}{(a^2 - {}^1/_4\, \rho^2)^2}$
395	13	v. o.	»	herabfährt, hell	herabfährt, ſieht man hell
—	14	v. u.	»	oder ein durch	oder durch
397	6	v. u.	»	Siegellackſtange	Glasſtange
402	13	v. o.	»	der letzteren Art	der erſteren Art
419	23	v. o.	»	Unterſchlagen	Ueberſchlagen
482	13	v. o.	»	Fig. 253	Fig. 253 b
512	24	v. o.	»	beſitzt es	beſitzt ſie
553	22	v. o.	»	A B	A C
555	3	v. u.	»	Fig. 277	Fig. 276
—	8	v. u.	»	Fig. 276	Fig. 277
556	11	v. u.	»	S A	A B
570	18	v. o.	»	a b x	a c x
586	8	v. o.	»	s′ F	s′ E
603	5	v. o.	»	C g″ = C′ g″	C g″ — C′ g″
624	6	v. o.	»	nicht verändert	nicht unverändert
—	11	v. o.	»	Schwingungen	Zerlegt man die Schwingungen
658	7	v. o	»	ausgehende	ausgehende Licht
709	2	v. u.	»	vermindert	vermehrt
—	3	v. u.	»	verkehrten	geraden
712	20	v. o.	»	alle abſorbirten	alle abſorbirbaren.
724	22	v. o	»	Fig 377	Fig 378
737	1—6	v. o.	»	$N O_5$	$N_2 O_5$
—	13	v. u.	»	Floh	Froſch
763	14	v. u.	»	B H — A H = B H	B H — A H = B A
769	15	v. u	»	immer kleiner	immer größer
799	15	v. u.	»	ihr verkehrtes	ihr gerades
844	19	v. u.	»	Hundsquelle	Hundsgrotte

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Baumgartner, Andreas <<von>>,

Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande mit Rücksicht auf mathematische Begründung

Wien 1845

Phys.g. 618 p
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10132346-7